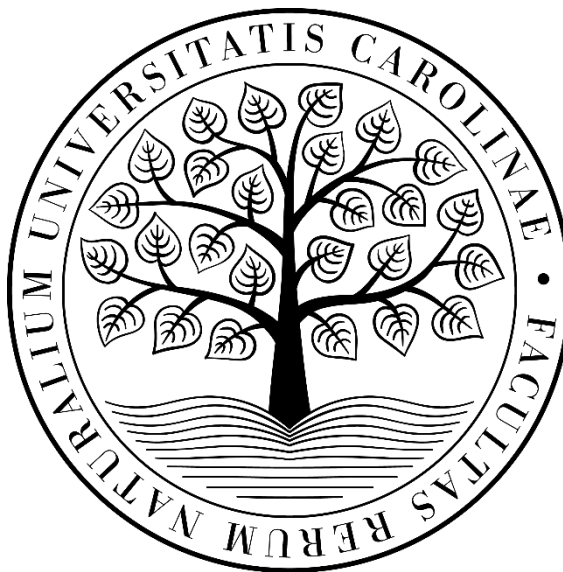


Univerzita Karlova
Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Chemie
Studijní obor: Učitelství chemie pro střední školy



Bc. Henrich Jenčuš

Úlohy se školními měřicími systémy pro využití na SOŠ se zaměřením na chemii

Activities with Probeware for chemistry oriented vocational schools

Diplomová práce

Vedoucí práce/Školitel: doc. RNDr. Petr Šmejkal, Ph.D.

Praha, 2021

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, 1. 8. 2021

Bc. Henrich Jenčuš

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu této práce, doc. RNDr. Petru Šmejkalovi, Ph.D., za věnovaný čas, ochotu, trpělivost a cenné rady při zpracování této práce, a také ostatním kolegům z Katedry didaktiky chemie, kteří se podělili o své rady a znalosti.

Abstrakt

Většina dostupných experimentů pro práci se školními měřicími systémy se zaměřuje na gymnaziální úroveň. Nicméně s rozšířením sofistikovanějších čidel se nabízí možnost vypracovat experimenty pro chemické střední odborné školy (obor Aplikovaná chemie). Tyto experimenty mohou těžit z výhod SOŠ – více času v laboratoři, lepší přístrojové vybavení a širší nabídka učiva umožňující náročnější experimenty. Zároveň však mohou posloužit jako nadstavbové experimenty pro gymnaziální úroveň chemického vzdělávání. V teoretické části jsou diskutovány školní měřicí systémy, jejich využití pro výuku chemie, nabídka různých čidel a jejich přednosti a nedostatky a také zdroje dostupných úloh, jejich kategorizace a porovnání s oblastmi RVP. Tato práce dále představuje sadu 5 různorodých vypracovaných a v laboratoři ověřených úloh vybraných v souladu s požadavky rámcových a školních vzdělávacích programů pro chemické SOŠ. Kromě sepsaného procesu jejich návrhu a ověření v této práci jsou v příloze poskytnuty vypracované materiály pro přímé využití v laboratorních cvičeních, rozdělené na část didaktickou – pro učitele a část pro žáky.

Klíčová slova

střední odborné školy chemické, školní měřicí systémy, obor aplikovaná chemie, sbírka experimentů

Abstract

Many of the experiments available for working with probeware are aimed at the grammar school level. However, with the proliferation of more sophisticated sensors, there is an opportunity to develop experiments for chemistry-oriented vocational schools (specialization Applied Chemistry). These experiments would benefit from the advantages of the vocational school - more time available in the laboratory, better instrumentation, and a wider range of learning topics allowing for more challenging experiments. However, these would also work as advanced experiments for grammar school level chemistry education. The theoretical part discusses probeware, its use for teaching chemistry, the range of different available sensors and their advantages and disadvantages, as well as sources of available experiments, their categorization and comparison with the Framework Education Programme education topics. This thesis introduces a set of 5 different, fully developed and laboratory-validated experiments selected in accordance with the requirements of the Framework Education Programme and School Education Programme for chemistry-oriented vocational schools. In addition to the write-up of the process of their design and validation in this thesis, the annex provides developed materials for direct use in school labs, divided into a didactic part - for teachers and a part for students.

Keywords

chemistry-oriented vocational schools, probeware, specialization Applied Chemistry, a collection of experiments

Obsah

Prohlášení.....	2
Poděkování.....	3
Abstrakt.....	4
Klíčová slova	4
Zkratky	8
Úvod.....	9
Teoretická část	10
Experiment	10
Experiment podporovaný počítačem.....	11
Nabídka ŠMS v České republice.....	13
Konstrukce ŠMS	14
Přehled čidel.....	15
Výhody použití ŠMS v experimentu.....	19
Stávající zdroje a úlohy	20
Úlohy pro výuku na SOŠ se zaměřením na chemii.....	23
Přehled SOŠ se zaměřením na chemii	24
Výhody použití ŠMS na středních odborných školách	26
Cíl práce	27
Vlastní práce	28
Úlohy vybrané ke zpracování.....	28
Úloha 1: Stanovení tlaku nasycených par a výparné entalpie.....	29
Úloha 2: Nefelometrické stanovení bílkovin a lipidů v mléce.....	35
Úloha 3: Skleníkový efekt.....	43
Úloha 4: Extrakce limonenu.....	50
Úloha 5: Identifikace aminokyselin pomocí pI.....	56
Diskuse.....	64

Závěr	67
Seznam obrázků	68
Seznam tabulek	68
Seznam grafů	69
Zdroje	70
PŘÍLOHY	1
Úloha 1: Stanovení tlaku nasycených par a výparná entalpie	2
Úloha 2: Nefelometrické stanovení bílkovin a lipidů v mléce	10
Úloha 3: Skleníkový efekt	16
Úloha 4: Extrakce limonenu	23
Úloha 5: Identifikace aminokyselin pomocí pI	31

Zkratky

DNA – deoxyribonukleová kyselina

DOS – Disk Operating System, typ staršího textového operačního systému

ICT – průřezové téma Informační a komunikační technologie dle rámcového vzdělávacího programu pro obor Aplikovaná chemie

ISE – iontově-selektivní elektroda

ISES – internetové školní experimentální studio

MBL – microcomputer-based laboratories, experiment podporovaný mikropočítačem

MŠMT – Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy České republiky

NÚV – Národní ústavu pro vzdělávání

ORP – oxidačně-redukční potenciál

RVP – rámcový vzdělávací program (obecně)

RVP G – rámcový vzdělávací program pro gymnázia

RVP ZV – rámcový vzdělávací program pro základní vzdělávání

SOŠ – střední odborná škola

SW – software

ŠMS – školní měřicí systém, definováno dále v textu

ŠVP – školní vzdělávací program

USA – Spojené státy americké

USB – Universal Serial Bus, typ sběrnice/konektoru pro počítačové systémy

UV záření – ultrafialové záření, záření s vlnovou délkou v oblasti 10-400 nm

VŠCHT – Vysoká škola chemicko-technologická v Praze

VÚP – Výzkumný ústav pedagogický v Praze

WiFi – standard bezdrátové komunikace mezi počítači

Úvod

Školní měřicí systémy (dále ŠMS), známé v anglické literatuře také jako *probeware* či *microcomputer-based laboratories (MBL)*, vznikly z představy univerzálního měřicího zařízení, které by sloužilo jako pomocník v učebním a experimentálním procesu a zprostředkovalo zpracování dat, jejich vizualizaci a interpretaci žáky v reálném čase. Přestože tato představa sahá až do 60. let minulého století, její realizace byla umožněna až objevem mikroprocesorů v 70. letech a jejich následným rozšířením, dostupností a eventuálním propadem ceny. Zde se objevují první pokusy o využití tehdejších počítačů ke vzdělávacím experimentům. Ověřování experimentů ve školním prostředí se ukázalo jako klíčové pro další rozvoj ŠMS, stejně jako tomu je pro každý pedagogický prostředek.

Komerčně dostupné ŠMS se objevují v 80. letech minulého století. V roce 1981 vzniká Vernier Software & Technology v Portlandu v USA, založené Davidem Vernierem, učitelem fyziky. Jeho motivací byla účast na pedagogickém workshopu seznamujícím učitele s potenciálem ŠMS. Do prostředí českého školství ŠMS Vernier vstupují v roce 2008 jejich zastoupením firmou Edufor. PASCO je v české republice zastoupeno od stejného roku firmou Profimedia. V ČR však vznikl již v osmdesátých letech experimentální systém ISES – internetové školní experimentální studio, zaměřený především na fyzikální měření, nicméně pro výuku chemie je k němu dostupné teplotní čidlo, čidlo pH a konduktometr. Systém je nadále vyvíjen na Matematicko-fyzikální fakultě Univerzity Karlovy.

Pořízení ŠMS je však teprve prvním krůčkem k zvýšení kvality výuky. Je potřeba vědět, jak tato zařízení použít, jak žáky neodradit složitostí sledovaných jevů či naopak neschovat to podstatné do „kouzelné krabičky“, která vlastně sama provádí experimenty, kterým žáci nerozumí. Proto pro úspěšnou realizaci experimentů za pomoci ŠMS je potřeba být didakticky připraven a mít k dispozici úlohy, které z použití těchto prostředků skutečně těžší a pomohou žákům získat nový pohled na daný problém či téma.

Teoretická část

Experiment

Experimentem v této práci budeme dále myslet experiment školní. Ten má roli jak prostředku výuky (je výukovou metodou), tak sám je současně předmětem výuky – cílem je osvojení vědecké metody samotné, a to principů formulace hypotézy, plánování experimentu, jeho provedení a hodnocení. Tyto dovednosti empirického poznávání jsou jedním z nejdůležitějších výstupů přírodovědného vzdělávání. (Beneš 1987)

Experiment může být prováděn několika způsoby. První formou, která nás obvykle napadne, je experiment žákovský. Ten může být prováděn individuálně, skupinově či hromadně celou třídou. Druhou možností je experiment prováděný učitelem, označovaný také jako demonstrační, což je možnost zejména vhodná v případech, kdy pracujeme s nebezpečnými látkami nebo experiment plánujeme zařadit do běžné výuky. V tomto případě se často jedná o experimenty zkumavkové, které mají motivační či aktivizační funkci, nebo slouží k lepšímu zapamatování souvisejícího právě probíraného učiva. Příkladem mohou být kationtové důkazové reakce z analytické chemie, které během výkladu tematického celku předvedeme. Je vhodné pamatovat také na možnost žákům předvést záznam pokusu v podobě videa. Tuto možnost využíváme u experimentů nebezpečných (např. dichromanová sopka), které z bezpečnostního hlediska už do školního prostředí nepatří, či těch vyžadujících nákladné a specifické chemikálie, které neplánujeme pořizovat (například vznik polyamidu 66).

I letmé nahlédnutí do odpovídajících kurikulárních dokumentů – rámcových vzdělávacích programů pro základní vzdělávání a pro gymnázia – ukáže, že experiment se stal neodlučitelným nástrojem výuky ve všech oblastech, zejména pak v přírodovědné (správně vzdělávací oblast Člověk a příroda). Kompetence k učení očekávají od absolventa základního vzdělání mimo jiné to, že „*samostatně pozoruje a experimentuje, získané výsledky porovnává, kriticky posuzuje a vyvozuje z nich závěry pro využití v budoucnosti*“. Předměty v oblasti Člověk a příroda mají tak mimo jiné rozvíjet relevantní dovednosti: „*Jedná se především o rozvíjení dovednosti soustavně, objektivně a spolehlivě pozorovat, experimentovat a měřit, vytvářet a ověřovat hypotézy o podstatě pozorovaných přírodních jevů, analyzovat výsledky tohoto ověřování a vyvozovat z nich závěry.*“ (MŠMT 2021). Na úrovni gymnaziální vidíme jasnou charakterizaci oblasti Příroda a člověk jako syntézu teoretických vědomostí

a empirických dovedností poznávání – úspěšný absolvent musí získat dovednosti k správnému a platnému aplikování vědecké metody na problémy, s kterými se bude dále potýkat. Tuto syntézu vědomostí a dovedností experimentovat vidíme dobře v tomto odstavci charakteristiky vzdělávací oblasti Člověk a příroda: „*Přírodovědné disciplíny jsou si velmi blízké i v metodách a prostředcích, které uplatňují ve své výzkumné činnosti. Používají totiž vždy souběžně empirické prostředky (tj. soustavné a objektivní pozorování, měření a experimenty) a prostředky teoretické (pojmy, hypotézy, modely a teorie). Každá z těchto složek je přitom v procesu výzkumu nezastupitelná, vzájemně se ovlivňují a podporují.*“ (MŠMT 2007a).

Je dobré si připomenout, že intenzivní začlenění experimentální výuky není žádnou novinkou a odráží vývoj samotné disciplíny chemie, která se právě aplikací vědecké metody přeměnila z ošklivého káčátka mezi vědami – alchymie – na krásnou labuť kterou je chemie. Pokud se podíváme ještě do dob rakousko-uherských, najdeme zde například Procházkovu učebnici z roku 1882 *Chemie, učebná kniha pro čtvrtou třídu škol reálných založená na pokusech*. Již z názvu vidíme, že forma výuky s využitím experimentu hrála v chemickém vzdělávání roli prakticky od počátku. Už ve školním roce 1930/31 byla zavedená povinná praktická cvičení z chemie na reálkách a reálných gymnáziích. Zhruba třetina všech škol v tomto období již v nějaké podobě realizovala praktická cvičení (Čtrnáctová a Banýr 1997).

Experiment podporovaný počítačem

Vynález tranzistorů a jejich následné uplatnění ve formě mikroprocesorů je snad největší technologickou revolucí 20. století. Během 30 let jsme vyspěli od analogových mechanických počítačů velikosti celé místnosti přes nesmírně drahé, nespolehlivé a stále rozměrné elektronkové počítače až k drobným procesorům, které se vejdou do dlaně a zpracují přes miliardu operací během vteřiny (Copeland 2020). Tyto výpočetní kapacity umožnily například 3D modelování molekul proteinů a DNA, automatizovaný vývoj a testování léčiv či vznik obrovských datových úložišť s kompletními genetickými informacemi mnoha organismů od těch nejjednodušších až po člověka. Přínos pro chemii a přírodní vědy jako celek je nedocenitelný.

Již od vzniku prvních programovatelných počítačů se objevují nadšenci snažící se využít výpočetní možnosti soudobých počítačů ve výuce přírodních věd. Výsledkem těchto snah jsou počítačem podporované experimenty. Takovéto úlohy využívají

výpočetní techniku (která dnes už neznamena jen osobní počítače, ale i výkonná přenosná zařízení jako jsou chytré telefony a tablety) k provedení, vizualizaci a následnému vyhodnocení experimentu.

Počítačem podporované experimenty jsou často rozlišovány podle míry virtualizace, např. (Bílek et al. 2010):

- **Virtuální** nebo někdy také simulované experimenty, například v podobě JavaScript appletu. Experiment probíhá pouze jako zjednodušená počítačová simulace reálného experimentu. Tyto úlohy se liší od animací či videozáznamů pokusů požadavkem interakce studenta s touto simulací. Mnoho takovýchto pokusů je k dispozici volně na internetu, příkladem může být virtuální experiment syntézy aspirinu na internetových stránkách Royal Society of Chemistry v anglickém jazyce (Royal Society of Chemistry 2021).
- **Vzdálené** experimenty, kdy je v laboratoři sestavena reálná aparatura ovládaná na dálku obvykle pomocí webového prohlížeče. Často se jedná o fyzikální experimenty, například se sestavenými elektrickými obvody, které lze snadno ovládat digitálně a není potřeba zajišťovat chemikálie, úklid či navrácení do původního stavu po dokončení pokusu. Tato aparatura je potom snímána kamerou a její stav vysílán žákům během pokusu ve formě videa. Příkladem může být pokus s fotovoltickým článkem k dispozici na internetových stránkách Matematicko-fyzikální fakulty Univerzity Karlovy (Dvořák, Kuriščák, a Lustig 2013).
- **Klasické** experimenty žákovské či demonstrační, kdy je experiment prováděn na místě žákem či učitelem a počítač je využit jako pomůcka ke zpracování, vizualizaci a interpretaci měřených dat v reálném čase – v průběhu nebo ihned po dokončení experimentu, nikoliv jen jako pomůcka ke zpracování dat po běžném pokusu.

Právě prostředky používané při klasických školních experimentech k interpretaci, vizualizaci a zpracování dat v reálném čase nás budou dále nejvíce zajímat. S definicí, vymezením a správným pojmenováním těchto prostředků se do určité míry potýká anglická i česká literatura. Problematika je detailněji rozebrána v práci (Šmejkal 2019), tento text se bude řídit stejným závěrem, tedy užitím pojmenování *školní měřicí systémy*, ve zkratce dále *ŠMS*. Ty si zde nadefinujeme jako prostředky k provedení

experimentu za podpory počítačem zprostředkovaného zpracování dat, jejich interpretace a vizualizace v reálném čase, tedy během provádění experimentu. Dále je vhodné zmínit některé další pojmy jako je čidlo neboli část měřicího systému zodpovědná za sběr dat. V literatuře i mezi prodejci se používají ve stejném významu pojmy čidlo, senzor a elektroda.

S rozšířením internetu byla věnována značná pozornost jeho přínosům a možnostem využití pro výuku mnoha předmětů, chemii nevyjímaje. Jedním z výsledků byl vznik populárně naučných portálů, v několika příkladech: e-chembook.eu, webchemie.cz (Švandová 2013), a studiumchemie.cz (Brenner 2009, 2012). Zejména studiumchemie.cz, pod záštitou Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy poskytuje materiálovou podporu pro učitele, včetně kompletně zpracovaných návodů pro experimenty ve školním prostředí, videozáznamů experimentů a námětů k experimentům pro případné další rozpracování. Pro učitele se tak internet stal neopomenutelným zdrojem i nástrojem pro plánování a provádění experimentu, a to i pro počítačem podporované experimenty se ŠMS, pro které jsou často k dispozici metodické materiály, pracovní listy či předpřipravené soubory experimentů pro použití s měřicím software.

Pro zájemce o hlubší nahlédnutí do historie ŠMS lze doporučit podrobné shrnutí prvních experimentů a cestu k modernímu měřicímu zařízení v článku *A History of Probeware* Roberta Tinkera, jednoho z průkopníků v této problematice. (Tinker 2000).

Nabídka ŠMS v České republice

V České republice je dostupných několik značek a typů školních měřicích systémů od různých výrobců. Tyto systémy jsou si do značné míry příbuzné, a vycházejí z podobných technických koncepcí. Jednotlivé systémy dostupné v České republice a jejich implementace ŠMS podrobněji rozebírají (Dvořáková 2017; Šmejkal 2019).

ŠMS nejsou v prostředí českých škol žádnou novinkou. Zejména je vhodné zmínit projekt ISES kolektivu autorů z Matematicko-fyzikální fakulty Univerzity Karlovy, vedený Františkem Lustigem. Tento systém vznikl již v polovině osmdesátých let a byl tedy v našem prostředí zcela průkopnickým (Lustig, Lustigová, a Vlášek 1992). Digitální zpracování a vizualizace dat byly v té době téměř nedosažitelné, celý systém byl postaven na textovém operačním systému DOS. Tento systém se zachoval dodnes, avšak samozřejmě prošel značnou evolucí. Dnes je dostupná i verze využívající moderní USB rozhraní či přenosný tablet (proprietární) – systém ISES-Win.

Největší zastoupení a rozšíření na českém trhu mají americké značky Vernier a PASCO, které se pyšní širokou nabídkou čidel a globálním zastoupením. Obě společnosti zajišťují na svých lokalizovaných webech určité množství materiálů pro použití se ŠMS, nicméně toto množství je jen zlomkem materiálů, které jsou dostupné v angličtině. Je vhodné také zmínit, že jsou zde obě firmy zastoupeny nepřímo (lokálními dodavateli).

Relativní novinkou na českém trhu je systém einstein. Jeho nabídka senzorů se částečně liší od výše zmíněných a nabízí například některé jinak nedostupné iontově-selektivní elektrody (kationty sodné a olovnaté, anionty fluoridové a bromidové) či unikátní kombinovanou kyslíkovou sondu pro plynný i rozpuštěný kyslík. I systém einstein je zde distribuován v zastoupení.

Konstrukce ŠMS

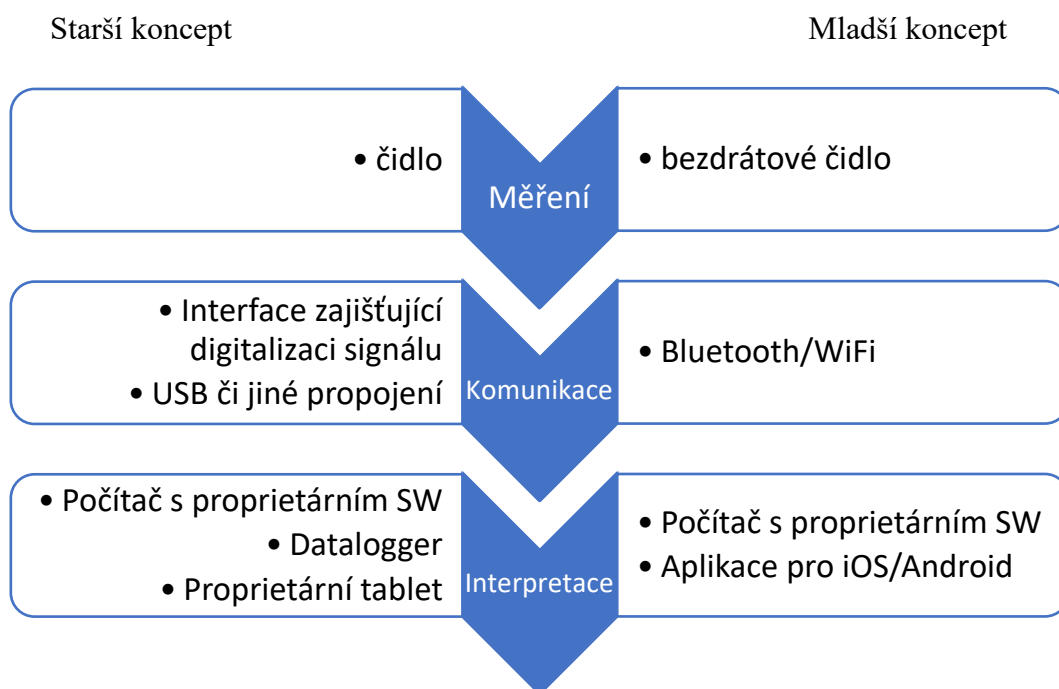
Pro ŠMS je typické využití běžného stolního počítače či notebooku využívající software výrobce čidla. Druhou možností je využití různých dataloggerů či proprietárních tabletů. Tyto dataloggery jsou vybaveny vlastním displejem a obvykle zjednodušenou verzí software pro PC. Jejich využití tedy usnadňuje měření v terénu, poskytuje okamžitou vizualizaci naměřených hodnot či průběhů a v neposlední řadě také kompaktní uspořádání experimentu. Nevýhodou dataloggerů je jejich omezená možnost dalšího zpracování dat (bez použití počítače), napájení, a také jejich cena, pohybující se často nad úroveň běžných komerčních mobilních zařízení či tabletů. Použitý systém bývá obvykle relativně uzavřený a umožňuje pouze zkopírování naměřených dat na počítač pomocí USB, sériového portu či jiného komunikačního portu.

Výsledkem snahy překonat tuto překážku v podobě drahého proprietárního přístroje je využití běžného mobilního zařízení či tabletu se široce rozšířeným operačním systémem jako je Android či iOS vybaveného aplikací od výrobce ŠMS. Problém připojení čidla je pak vyřešen použitím čidel bezdrátových, vybavených komunikačním rozhraním Bluetooth, případně využívajícím WiFi. Nevýhodou těchto aplikací je často omezená možnost zpracování a interpretace dat, jelikož doprovodné aplikace pro mobilní zařízení často neobsahují všechny dostupné funkce aplikací pro počítač. Důležité je také zmínit, že výrobci se velmi liší ve zpoplatnění jednotlivých aplikací, ať už pro mobilní platformy či pro počítač, čímž opět dochází k omezení některých dostupných funkcí. Například Vernier dlouhodobě nabízí zdarma základní software Logger Lite, zatímco

rozšířený Logger Pro vyžaduje zakoupení softwarové licence. V poslední době však od těchto praktik výrobci spíše ustupují v zájmu zvýšení atraktivity jejich ŠMS pro nové uživatele.

Z praktického hlediska je vhodné zde upozornit učitele na problematiku verze Bluetooth přijímače na zařízení, které provádí záznam dat (počítač, telefon...). Novější bezdrátová čidla PASCO například vyžadují verzi 4.0 a čidla Vernier verzi 4.2, přičemž tyto verze bývají běžné na mobilních zařízeních, ale nikoliv na starších noteboocích, jaké se mohou ve školách vyskytovat. Tento problém lze vyřešit zakoupením Bluetooth „dongle“ do USB portu patřičné verze v ceně zhruba stokoruny, anebo použitím klasického drátového připojení u čidel, která tuto dvojí možnost připojení nabízí.

V historické i současné nabídce výrobců Vernier a PASCO můžeme sledovat jakousi evoluci ŠMS. Je zde zcela patrný vliv přenosných chytrých zařízení, jejich masivního rozšíření a dostupnosti už i mezi žáky. Koncept proprietárních zařízení specializovaných na experimentální měření se tak jeví jako zastaralý, omezený a cenově nepříznivý.



Graf 1 - Srovnání koncepcí ŠMS

Přehled čidel

Pro výuku chemie mají výrobci mnoho typů čidel měřících různé veličiny. V této části následuje přehled těch nejdůležitějších čidel z pohledu učitele chemika dostupných na českém trhu, jejich konstrukce, případných zvláštností, výhod a nedostatků. Tento

přehled slouží jak pro přehledové uvedení do možností experimentů se ŠMS, tak pro následnou identifikaci čidel, pro které není zajištěna dostatečná podpora v podobě vypracovaných úloh pro učitele.

Teplota – čidla měřící teplotu. Je k dispozici několik typů od běžných čidel po termočlánky pro měření vysokých teplot přes 1000 °C. Teplotními čidly bývají obvykle vybaveni všichni uživatelé ŠMS, jelikož základní teplotní čidla jsou obvykle součástí většiny základních balíčků. Tato čidla jsou obvykle chemicky i tepelně odolná s prakticky neomezenou životností. Obvykle se nekalibrují.

Tlak – čidla měřící absolutní tlak plynu. V nabídce jsou čidla pohybující se v okolí cca jedné atmosféry (často označována jako čidla barometrická) a také čidla vysokotlaková (obvykle s limitem ve stovkách kPa neboli několik atmosfér). Je třeba pamatovat, že tato čidla mohou být poškozena překročením limitního tlaku. Tlaková čidla se obvykle nekalibrují.

pH – nabízeno je více typů čidel pH, skleněné elektrody či ploché tris-kompatibilní elektrody pro vhodné biochemii. Tato čidla vyžadují správné skladování a pravidelnou kalibraci, a mají omezenou životnost.

ORP – čidlo oxidačně-redukčního potenciálu, také zvané potenciometrické, obvykle tvořeno článkem sestaveným z platinové a argentochloridové elektrody. Pomocí Nernstovy rovnice lze určit koncentrace redoxních látek nebo provádět potenciometrické titrace. Dle návodů k použití není pro běžná měření kalibrace potřeba.

Vodivost – jednoduchá vodivostní čidla. Nenáročná na provoz i skladování. Při přesném měření je vhodná kalibrace, nicméně na běžné použití (srovnání vodivostí různých roztoků apod.) není potřeba.

Salinita – měření rozpuštěných minerálů ve vodních zdrojích. Specifická varianta vodivostní elektrody, vhodná pro měření salinity vodních zdrojů. Automaticky přepočítává vodivost na koncentraci chloridu sodného. Měří pouze relativně slabé roztoky (<5 %).

Iontově-selektivní elektrody (ISE) – měří koncentraci konkrétního iontu pomocí specificky propustné membrány. Dostupné jsou draselné, chloridové, dusičnanové, vápenaté a amonné elektrody. Nabídka se u mnoha dodavatelů do určité míry zúžila, omezeně dostupné jsou například fluoridové elektrody. Širší nabídka je u systémů

einstein. Důležitou vlastností těchto elektrod je relativně krátká životnost i při správném skladování, která spolu s finančními náklady omezuje jejich využitelnost při standardní výuce. Pokud vezmeme za příklad bezdrátové ISE sondy Vernier, pak s životností membrány s garancí jeden rok, bez ohledu na další náklady, může vzniknout finanční zátěž 15 000 korun ročně, která prakticky jen těžko najde opodstatnění vzhledem k omezenému využití specifických ISE elektrod. Kalibrace se provádí dvoubodová.

Plynové selektivní elektrody – selektivní elektrody na kyslík, oxid uhličitý či ethanol, zejména užitečné pro biologii a biochemii. Určené pouze pro měření v plynech (vzduchu), nikoliv v roztocích. Často jsou doplněny o teploměr a vlhkoměr. Kalibrace se provádí manuálně (bez potřeby standardů) podle vzdušné vlhkosti.

Rozpuštěný plyn – čidlo pro měření kyslíku ve vodě, založené na luminiscenci. Čidlo se liší konstrukcí u jednotlivých dodavatelů, pro více informací je vhodné prostudovat manuály dostupné na internetových stránkách výrobce. Některá fungují na principu luminiscence, jiná zase obsahují polarografickou Clarkovu elektrodu.

Kolorimetry/Spektrofotometry – měření absorbance kapalin, případně absorpčních spekter. Kolorimetry jsou jednoduššími (a levnějšími) sourozenci spektrofotometrů, omezené na měření při konkrétních vlnových délkách namísto v plynulém spektru, tudíž nejsou pochopitelně schopné ani změřit absorpční spektra látek. Jinak jsou tyto přístroje srovnatelné s běžnými laboratorními spektrofotometry, jen v jednodušším a kompaktnějším provedení a určitými omezeními co se týče rozlišení či vyhlazování spektra. Měří se v klasických spektrofotometrických kyvetách. Pro měření emise světelného zdroje je možné dokoupit optický kabel. Dodávány jsou s plastovými kyvetami. Kalibrace je vhodná při každém měření.

Bodotávek – měření bodu tání pevných látek, obvykle v kapilárním provedení. Přístroj je srovnatelný s profesionálním přístrojem z laboratoře co do principu, přesnosti a bohužel i ceny. Kalibrace je tovární.

Plynový chromatograf – rozdělení a stanovení vzorků těkavých organických sloučenin. Přístroj je opět velmi kompaktní a veškeré informace kabelově či bezdrátově zasílá na počítač, který vyhodnocuje a zobrazuje data pomocí software. Je potřeba detailně nastudovat manuál a zejména informace o látkách vhodných či nevhodných pro použitou kolonu. Různé generace přístrojů se dodávaly s různými kolonami!

Polarimetr – stanovení polarizace světla a optické otáčivosti. Přístroj je vybaven dvojicí polarizačních filtrů, statickým a rotujícím, který proměří množství procházejícího světla při všech vzájemných úhlech. Přístroj je schopen určit optickou čistotu enantiomeru a specifickou otáčivost. Kalibrace je doporučena při každém spuštění přístroje a provádí se roztokem opticky aktivní látky ve zvoleném rozpouštědle, ve kterém následně měříme stanovovanou látku.

Nefelometr/Turbidimetr – přístroje ke stanovení zákalu (turbidity). Na nerozpuštěných částicích dochází k rozptylu světla, které je měřeno pod pravým úhlem od zdroje (nefelometrie, nižší hodnoty zákalu) nebo je měřena transmitance (turbidimetrie, vyšší hodnoty zákalu). Lze měřit i makromolekulární rozpuštěné látky, například proteiny, které tvoří koloidní roztoky, ve kterých dochází k rozptylu světla Tyndallovým jevem. Kalibrace se provádí při každém spuštění na přiložený standard.

UV záření – jednoduchá čidla vybavena fotodiodami snímající záření v rozsahu vlnových délek oblastí UVA a UVB. Kalibrace je tovární, nicméně lze provést kalibraci relativní, při měření jednoho zdroje záření (slunce, lampa). Ten se při plném vystavení kalibruje jako 100% intenzita, a měření je poté prováděno na této škále.

Ionizující záření (Geigerovy-Müllerovy počítáče) – měří zásahy ionizující částicí za vteřinu (cps). K rozlišení typu záření je popsán postup v manuálu (různé formy stínění, běžný způsob rozlišení α , β a γ záření). Samotný detektor má omezenou životnost, a po určité době bude nutné jej nahradit. Kalibrace je tovární.

Ampérmetry a voltmetry – měření fyzikálních elektrických veličin. Přestože obvykle používané k fyzikálním měřením, lze je využít i v chemii jako alternativu ke klasickým přenosným kombimetrům. Největší využití najdou pochopitelně v elektrochemii.

Váhy – přestože většina škol si vystačí s předvážkami nebo jinými dostupnými váhami, v nabídce jsou váhy kompatibilní se snímáním dat v jednotlivých software výrobců. Kalibrace je typicky externí (za použití závaží).

Kapkové čidlo – optická závora/čítač kapek pro titrace a další volumetrické metody. Umožňuje automatizované měření přídatku kapaliny. Je potřeba kalibrovat na každý nový roztok (různý objem kapek).

Kromě nabídky individuálních čidel jsou běžné určité tematické soupravy. Příkladem je PASCO Advanced Chemistry Sensor, který je určen k měření teploty, tlaku,

pH a vodivosti. Reálně však nedošlo k vzniku žádného kombinovaného čidla, ale k vytvoření sjednoceného interface pro zpracování analogových signálů na digitální. Tyto soupravy často představovaly výraznou úsporu z hlediska finančního i skladovacího. S přechodem k bezdrátovým čidlům, která mají každé vlastní bezdrátové připojení, je vidět přesun od těchto kombinovaných interface k individuálně konfigurovaným „soupravám“ – reálně se jedná o jednotlivá čidla pořízená se slevou, odpadá tak například výhoda kompaktnosti.



Obrázek 1 - Souprava PASCO Advanced Chemistry Sensor

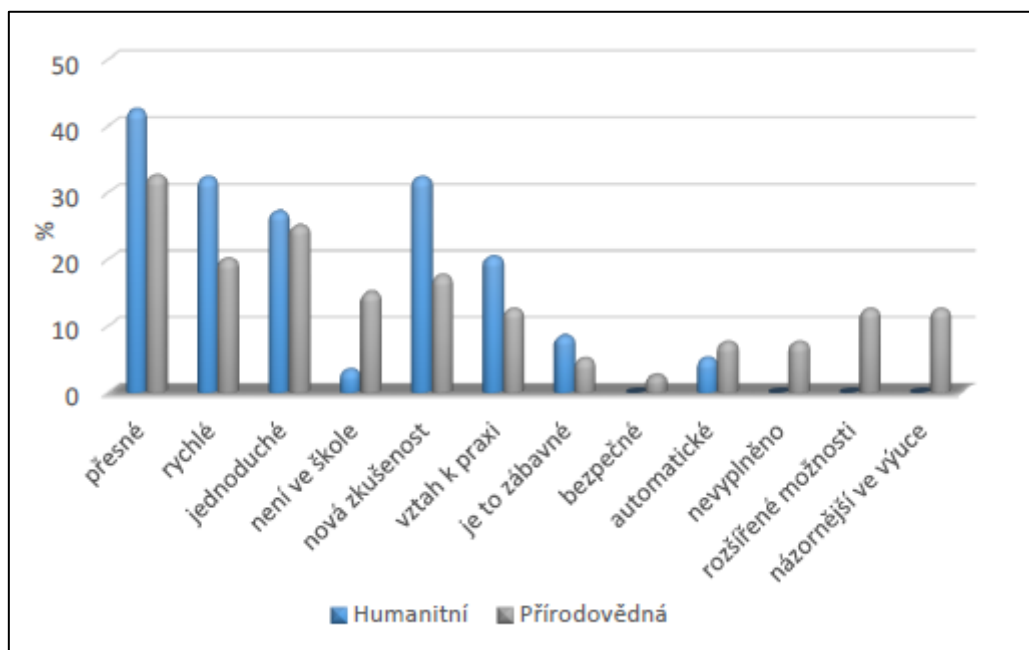
Převzato z internetových stránek společnosti PASCO, www.pasco.com

Výhody použití ŠMS v experimentu

Hodnocení kvalit a nedostatků práce se ŠMS se v českém prostředí věnuje mnoho prací, například (Skoršepa a Šmejkal 2016; Šmejkal 2019; Šmejkal, Skoršepa, a Stratilová Urválková 2016, 2018).

Z hlediska didaktického mezi hlavní výhody ŠMS patří vizualizace dat v reálném čase. Mezi další výhody lze zařadit jejich cenu ve srovnání s použitím stejného množství profesionálních měřicích zařízení. Nelze opomenout výhodu kombinovaného měření více veličin v jediném uživatelském rozhraní. Například při potenciometrické titraci lze využít kombinace ORP čidla a kapkového čidla, čímž odpadá pro studenty pracný zápis hodnot do sešitů po každém přidavku titračního činidla a následný přepis do počítače. Studenti tak mohou úlohu provést rychleji a zároveň při ní sledovat a lépe pochopit její průběh. Sjednocené uživatelské rozhraní také snižuje nároky na seznamování žáků s novými přístroji. Ti jsou pak při opakovaném používání stejných rozhraní více sebevědomí v jeho ovládání a zpracování výstupních dat.

Je také důležité dívat se na práci se ŠMS z pohledu žáků. Na grafu níže lze vidět odpovědi studentů humanitně a přírodovědně zaměřených škol na otázku „*Jaké jsou výhody práce se školním měřicím systémem?*“ s volnou odpovědí (převzato se souhlasem z habilitační práce (Šmejkal 2019)). Tito studenti odpovídali dotazníkovou formou po absolvování úlohy za použití ŠMS.



Obrázek 2 - Názory studentů na práci se ŠMS po absolvování experimentu

Převzato se souhlasem z habilitační práce (Šmejkal 2019).

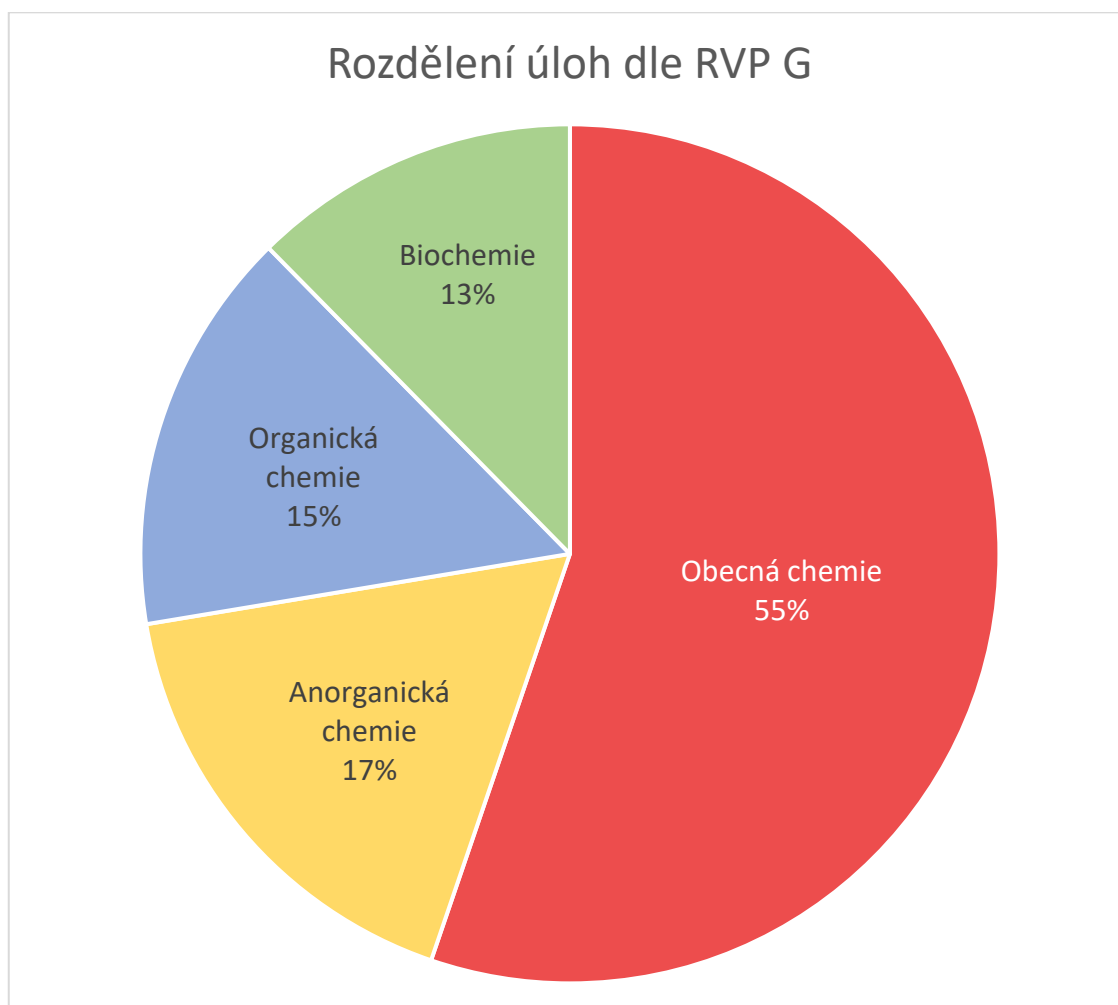
Vidíme, že mnozí studenti vnímali ŠMS jako zajímavou novou zkušenost – zde je vidět potenciál motivační a aktivizační. Značná část považuje práci se ŠMS za jednoduchou, přesnou a rychlou.

Sluší se zmínit i některé nevýhody, například menší citlivost jednotlivých čidel ve srovnání s některými profesionálními měřicími zařízeními. Otázkou je, zda je toto skutečně problémem v prostředí školním – pro některá analytické stanovení to překážkou být může, nicméně i při menší přesnosti si žáci osvojí metodu a práci s daným typem přístroje a didaktický přínos tím nijak neutrpí.

Stávající zdroje a úlohy

V českém jazyce existuje několik volně přístupných zdrojů chemických experimentů se ŠMS, se kterými se může učitel setkat. Jejich rozboru se věnuji ve své bakalářské práci (Jenčuš 2019). V těchto zdrojích jsem identifikoval celkem 96 unikátních úloh, které lze zařadit do chemie dle RVP. (MŠMT 2007a). Tyto úlohy

byly dále roztrženy do sekcí dle RVP. Některé úlohy byly zařazeny do více kategorií. Na grafu níže lze vidět, že zdaleka nejvíce úloh spadá do oblasti obecné chemie. Jsou to zejména úlohy zaměřené na měření veličin – pH, teploty, tepla skupenské přeměny, tepla rozpouštění a také se mnohé úlohy zaměřené na chemickou kinetiku.



Graf 2 - Rozdělení úloh dle RVP pro gymnázia

Z učiva obecné chemie jsou méně pokryté oblasti stavby atomu, kde lze využít některých čidel ionizujícího záření. Oblast učiva o periodické soustavě prvků také není příliš dotčena. Zde se nabízí například úloha na vizualizaci trendů v periodické soustavě. Téma chemické vazby je také spíše nepostihnuté, ale například vlastnosti koordinačně-kovalentních sloučenin jsou zkoumány v některých experimentech zařazených do anorganické chemie mezi učivo přechodných kovů.

Anorganická chemie je pokryta dostupnými materiály velmi nerovnoměrně. Některé reakce či prvky jsou pro návody využívány opakovaně, a některé jsou nepokryty. Většina úloh se věnuje známějším prvkům a sloučeninám jako je oxid uhličitý, železo,

peroxid vodíku a podobně. Protože však je pro tyto látky dostatek vzdělávacího materiálu i bez využití ŠMS, bylo by vhodné zpracovat některé méně pokryté oblasti. Do kategorie vodíku jsem žádnou úlohu přímo nezařadil, nicméně sloučeniny vodíku a jejich vlastnosti se vyskytují v jiných úlohách, například ve formě halogenovodíkových kyselin.

Organická chemie je v materiálech pokryta velmi omezeně. Většina úloh se věnuje organickým barvivům, a dále je zde jediná úloha na použití plynové chromatografie ke stanovení methanolu a úloha na titraci vína. Protože organická chemie je často „nebarevná“, zdá se jako ideální kandidát pro využití ŠMS jako vizualizačního prostředku. Značnou bariérou pro využití ŠMS u mnoha reakcí v organické chemii však je nevodné prostředí, s kterým často jednotlivá čidla nejsou kompatibilní. Potenciál k tvorbě experimentů by mohl být v ORP čidlech schopných práce v nevodném prostředí. Uhlovodíky jako takové jsou svým charakterem obtížně přístupné pro mnoho čidel. Nabízí se zapojení některých exotičtějších čidel, například plynového chromatografu, polarografu či bodotávku. Téma heterocyklických sloučenin je relativně úzké, a mnoho ze zde zajímavých sloučenin často zapadne do kategorie *léčiva*, *pesticidy*, *barviva* a *detergenty*, či do učiva biochemie.

Tabulka 1 - Četnost úloh dle oblastí RVP

Oblast RVP	Tematický celek	Četnost úloh
Obecná chemie	soustavy látek a jejich složení	3
	veličiny a výpočty v chemii	33
	stavba atomu	4
	periodická soustava prvků	0
	chemická vazba a vlastnosti látek	0
	tepelné změny při chemických reakcích	13
	rychlost chemických reakcí a chemická rovnováha	10
Anorganická chemie	vodík a jeho sloučeniny	0
	s-prvky a jejich sloučeniny	2
	p-prvky a jejich sloučeniny	12
	d- a f-prvky a jejich sloučeniny	2
Organická chemie	uhlovodíky a jejich klasifikace	0
	deriváty uhlovodíků a jejich klasifikace	5
	heterocyklické sloučeniny	0
	syntetické makromolekulární látky	0
	léčiva, pesticidy, barviva a detergenty	10
Biochemie	lipidy	0
	sacharidy	2
	proteiny	3
	nukleové kyseliny	0
	enzymy, vitaminy a hormony	6

Biochemie je rozpracována pouze v omezené míře. Nejlépe jsou zpracována témata kvašení a dalších enzymatických procesů, naopak zde zcela chybí úlohy zaměřené na lipidy a nukleové kyseliny. Téma lipidů opět částečně trpí potřebou čidel pracovat ve vodném prostředí, zatímco nukleové kyseliny pravděpodobně náročností experimentů z této kategorie a potřebou specifického přístrojového vybavení, například spektrofotometru k měření DNA.

Zajímavé však je sledovat problém také z opačné stránky. Některá čidla nemají dostatečnou podporu v materiálech pro jejich reálné pořízení a využití vzhledem k jejich nákladům. U některých čidel je tato skutečnost způsobená jejich velkou specificitou – například čidlo ethanolu v parách nad vodnými roztoky schopné měřit v rozsahu 0-3 % lze velmi těžko adaptovat na jiné použití, než je sledování kvašení. Mnohá univerzálnější čidla však také trpí nedostatečnou materiálovou podporou. Pokud by tato čidla chtěl vyučující pro nějaké experimentování zařadit, musí si tedy sám vypracovat potřebné materiály k výuce a v neposlední řadě experiment vyzkoušet a vypracovat postup práce pro své žáky.

Úlohy pro výuku na SOŠ se zaměřením na chemii

Po prostudování existujících návodů je zřejmé, že jsou v drtivé většině zaměřeny na výuku na standardní středoškolské a gymnaziální úrovni. Naopak pro výuku specificky na středních odborných školách se zaměřením na chemii zde úlohy nenajdeme. Pravděpodobně je to způsobeno snahou připravit úlohy pro co nejširší publikum škol. Ty buď nevlastní některá pokročilá ŠMS, protože jejich principy nejsou probírány v učivu nebo protože jejich pořízení bývá výrazně dražší – z výše probíraných čidel například plynový chromatograf.

Nedostatek těchto pokročilejších úloh je však na úkor SOŠ, protože jejich prostředí nabízí nové možnosti pro aplikaci ŠMS. Nejen že je zde jednoznačně bohatší dotace laboratorní výuky, obvykle alespoň 3 hodiny týdně, ale tato výuka je také intenzivnější – jsou k dispozici delší časové úseky umožňující provádění delších a detailněji rozpracovaných úloh. Ve vzdělávacích programech jsou také zařazeny předměty a učivo, které na gymnáziích nenajdeme. Například z fyzikální chemie zde najdeme velký blok věnovaný skupenstvím, skupenským přeměnám a disperzním soustavám (MSŠCH 2018; SPŠ Otrokovice 2016). V těchto oblastech experimenty chybí nebo jsou zaměřeny pouze na nejjednodušší části učiva, a je proto vhodné se nad jejich

tvorbou zamyslet. Materiál navržený pro výuku na SOŠ koneckonců nebrání využití i na méně specializovaných školách, pokud dané téma učitel plánuje zařadit jako nadstavbu nebo například v rámci semináře či tematicky zaměřeného dne, kdy je k dispozici více času v laboratoři.

Přehled SOŠ se zaměřením na chemii

Obor Aplikovaná chemie (kód oboru 28-44-M/01) nabízí nejširší odborné vzdělávání zaměřené na chemii na úrovni střední školy zakončené maturitní zkouškou. Mezi příbuzné, více specializované obory, můžeme zařadit například Analýzu potravin (kód oboru 29-42-M/01), Technologii potravin (29-41-M/01) či Technologii silikátů (28-46-M/01).

V roce 2009 bylo v České republice 16 škol nabízejících obor Aplikovaná chemie (Čtrnáctová a Zajíček 2010). V roce 2021 je jich v nabídce 15, situace se tak výrazněji nezměnila (Národní pedagogický institut ČR 2021). Shrnující tabulka škol je na následující straně.

Nejdůležitější charakteristikou výuky na středních odborných školách s oborem Aplikovaná chemie je důraz na praktickou výuku v laboratoři a obvykle se očekává lepší vybavenost školních laboratoří pokročilou přístrojovou technikou. Některé školy spolupracují s lokálními chemickými provozy, například spolupráce SOŠ EDUCHEM a.s. se skupinou ORLEN UNIPETROL, či SOŠ technické a zahradnické Lovosice s Lovochemií a.s. Tyto spolupráce umožňují další profesní přípravu přímo na odborných pracovištích a rozvoj dovedností pro efektivní uplatnění v budoucím zaměstnání.

Po přehledové analýze kurikulárních dokumentů u škol, které je publikují na svých internetových stránkách (viz tabulka škol na další stránce), a prostudování RVP pro střední odborné vzdělávání oboru Aplikovaná chemie (MŠMT 2007b), se v žádném školním vzdělávacím programu explicitně nezmiňuje využití školních měřicích systémů k experimentální výuce. Pochopitelně tím není jejich použití nijak vyloučeno, avšak pravděpodobně je jich užíváno spíše z iniciativy jednotlivých učitelů. Z osobní zkušenosti mohu potvrdit využití ŠMS ve výuce na několika z výše zmíněných škol.

Tabulka 2 - Seznam SOŠ s oborem Aplikovaná chemie – šk. rok 2020/2021

Název školy	Kraj	ŠVP dostupný online
Vyšší odborná škola zdravotnická a Střední zdravotnická škola, Praha 1	Hlavní město Praha	Ne
Masarykova střední škola chemická, Praha 1	Hlavní město Praha	Ano (MSŠCH 2018)
Střední škola obchodní, České Budějovice	Jihočeský	Ne
Střední uměleckoprůmyslová škola keramická a sklářská Karlovy Vary	Karlovarský	Ne
Střední odborná škola technická a zahradnická, Lovosice	Ústecký	Ne
Střední škola EDUCHEM, a.s., Meziboří	Ústecký	Ano (EDUCHEM 2018)
Gymnázium a Střední odborná škola dr. Václava Šmejkala, Ústí nad Labem	Ústecký	Ne
Střední uměleckoprůmyslová škola sklářská, Železný Brod	Liberecký	Ne
Střední průmyslová škola a Střední odborná škola, Dvůr Králové nad Labem	Královehradecký	Ne
Střední průmyslová škola chemická Pardubice	Pardubický	Ne
Střední průmyslová škola chemická Brno	Jihomoravský	Ano (SPŠCH Brno 2020)
Střední škola logistiky a chemie, Olomouc	Olomoucký	Ano (SŠLCH Olomouc 2017)
Střední průmyslová škola Hranice	Olomoucký	Ne
Střední průmyslová škola Otrokovice	Zlínský	Ano (SPŠ Otrokovice 2016)
Střední průmyslová škola chemická akademika Heyrovského, Ostrava	Moravskoslezský	Ano (SPŠCH Ostrava 2018)

Výhody použití ŠMS na středních odborných školách

Výhody a nevýhody použití ŠMS obecně jsou rozebírány výše v části Výhody použití ŠMS v experimentu. Mnohé z těchto myšlenek lze přenést přímo na využití ŠMS na středních odborných školách se zaměřením na chemii, a to například otázku ceny – na SOŠ je zvýšená praktická laboratorní činnost a také zvýšená finanční podpora výuky chemie a realizace laboratorních činností, a tak se pro jejich využití nabízí více prostoru.

Přestože úkolem střední odborné školy je připravit absolventy na realitu profesní praxe, ve vzdělávacím procesu je důležité postavit úlohy tak, aby se žáci potýkali s problémy souvisejícími s náplní laboratorního cvičení, nikoliv s přístrojem samotným a jeho použitím. Je nutné se tedy zamyslet, zda by použití jednotného a žákům již známého systému a ovládacího software při práci se školními měřicími systémy po didaktické stránce nepřineslo větší užitek, než práce žáků s přístroji sice profesionálními a přesnými, nicméně s rozlišnými ovládacími prvky a programy.

Další zajímavou myšlenkou je organizace laboratorního cvičení. Pokud nahradíme profesionální, ale dražší přístroje několika ŠMS, můžeme tak provádět výuku paralelní, kde všichni studenti provádí stejnou úlohu, místo výuky turnusové, kde studenti během školního roku střídají jednotlivá stanoviště. Paralelní organizace výuky umožní učitelům vysvětlit danou metodu více do hloubky, usnadní spolupráci studentům, kteří si mohou lépe pomoci navzájem, a také učitelům, kteří mohou rozdělit pozornost mezi všechny žáky, místo aby se věnovali skupince, která zrovna má za úkol nejtěžší experiment.

Cíl práce

V této práci jsem se zaměřil na úlohy pro střední odborné školy chemické (maturitní obor Aplikovaná chemie). Existující úlohy jsou povětšinou zaměřeny pro co nejširší využití a jsou navrženy s využitím nejvíce rozšířených čidel k měření teploty, pH či vodivosti. Úlohy jsou rovněž koncipovány pro aplikaci ve výuce na všeobecných gymnáziích a jejich odborná úroveň a didaktické cíle nemusí reflektovat potřeby středních odborných škol se zaměřením na chemii. Mnoho výrobců nabízí i sofistikovanější čidla, například kompaktní spektrofotometry, turbidimetry a nefelometry, bodotávek či dokonce plynový chromatograf. Pro případné zájemce o jejich využití není k dispozici mnoho vypracovaných úloh, neboť pro mnoho gymnázií může být zařazení některých těchto metod nad rámec jejich standardního obsahu vzdělávání, protože tyto metody nemají zahrnuty v učivu. Pokud se však podíváme na střední odborné školy zaměřené na chemii, najdeme zde z výše uvedených důvodů prostředí příznivé využití těchto přístrojů, kdy dalším benefitem může být také rozpočtová úspora oproti profesionálním měřicím zařízením.

Z uvedených důvodů jsem se v této práci zaměřil na koncepci a tvorbu několika úloh s využitím školních měřicích systémů pro využití ve výuce na chemicky zaměřených středních odborných školách. Pro návrh úloh poslouží jako odrazový můstek úseky učiva dle RVP/ŠVP pro SOŠ s oborem Aplikovaná chemie, pro které není k dispozici vhodná úloha pro využití ŠMS. Určitý důraz byl kladen také na výběr čidel, která zatím nemají k dispozici dostatek úloh k jejich praktickému používání.

Vlastní práce

Úlohy vybrané ke zpracování

K podrobnému zpracování didaktických materiálů pro žáky a učitele bylo z širšího výběru zvoleno několik úloh. Tyto úlohy jsou rozličného charakteru a byly vybírány dle závěrů z průzkumu RVP, ŠVP, dostupných čidel a existujících materiálů. Jedná se o úlohy:

- 1) Stanovení tlaku nasycených par a výparné entalpie
- 2) Nefelometrické stanovení bílkovin a lipidů v mléce
- 3) Skleníkový efekt
- 4) Extrakce limonenu
- 5) Identifikace aminokyselin pomocí pI

Detailní odůvodnění je uvedeno u jednotlivých úloh. Obecně se jedná o úlohy a/nebo metody atypické pro gymnaziální prostředí a lze je považovat za rozšiřující materiál. Naopak například extrakce z přírodnin či titrace jsou běžnou náplní výuky středních odborných škol.

Všechny úlohy jsou zpracovány dle jednotné osnovy. V této práci je popsán proces jejich tvorby, vlastní měření a zdůvodnění organizace experimentu. V přílohách na konci práce naleznete ke každé úloze vypracované dva materiály:

- Didaktický, s informacemi pro učitele
- Žákovský, sloužící jako návod k provedení úlohy

Úloha 1: Stanovení tlaku nasycených par a výparné entalpie

Didaktický záměr

Volba této úlohy se opírá o zkušenost s problematikou tématu skupenských přeměn, a zejména s častou chybou objevující se u žáků – ztotožnění či pochybení u pojmů var a vypařování (Šindelář 2019). Správné označení a uvažování nad těmito skupenskými přechody považuji za jeden z klíčových výstupů tematického celku o soustavách látek.

Cíle a výstupy úlohy

Pro tuto úlohy byly zvoleny tyto didaktické cíle a výstupy:

Tabulka 3 - Úloha 1, cíle a výstupy

Cíl 1	Porozumění vztahu mezi tlakem sytých par a teplotou
Výstup 1a	Žák zakreslí trend závislosti tlaku par nad kapalinou – exponenciální křivku
Výstup 1b	Žák na tomto trendu rozliší fázi kapaliny a fázi plynu, a označí tuto křivku jako křivku nasycených par
Cíl 2	Upevnění pojmu var a teplota varu versus vypařování
Výstup 2	Žák správně používá pojmy var a vypařování a vysvětlí rozdíl mezi nimi
Cíl 3	Pochopení závislosti teploty varu na tlaku (tlakový hrnec, vysoká nadmořská výška)
Výstup 3	Žák určí skupenství látky při daném tlaku a teplotě z fázového diagramu
Cíl 4	Zvládnutí základních operací s naměřenými daty, prezentace v grafu
Výstup 4	Žák vyjádří a vypočte konstantu z naměřených dat a zadané rovnice (za pomoci kancelářského SW)
Cíl 5	Žák má reálnou představu o významu termochemických / fyzikálních stavových veličin (teplota varu, výparná entalpie, tepelná kapacita)
Výstup 5	Žák použije veličiny výparné entalpie a tepelné kapacity a vyřeší jednoduchou úlohu na jejich použití, případně slovně vysvětlí jejich význam

Mezioborové vztahy

Tabulka 4 - Úloha 1, mezioborové vztahy

Matematika	Vyžaduje znalost práce s logaritmy a exponenty Umožňuje propojení s diferenciálním počtem, odvození integrálního tvaru Clausiovy-Clapeyronovy rovnice
ICT	Práce s tabulkovým procesorem a prezentace dat
Fyzika	Překryv s tématem Molekulová fyzika a termika – přeměny skupenství látek, teplo a tepelná kapacita

Použitá čidla

Lze použít libovolné čidlo se shodnými vlastnostmi. Návod pro žáky je formulován pro práci s čidly a software firmy Vernier, ale lze ho adaptovat na libovolné vybavení.

Tlakové čidlo Vernier – GPS-BTA, s příslušenstvím (kompatibilní hadička a gumová zátka), s rozsahem 0-210 kPa (absolutní tlak)

Teplotní čidlo Vernier – TMP-BTA, s rozsahem -40 až 135 °C

Chemikálie

Destilovaná voda

Další pomůcky

- kádinka sloužící jako vodní lázeň (použita 400 ml)
- baňka pro vlastní měření která se vejde do zvolené kádinky (použita Erlenmeyerova baňka 100 ml)
- zátka s otvorem pro tlakové čidlo, která „pasuje“ do baňky
- míchačka s ohřevem, topné hnízdo či kahan
- počítač pro záznam dat vybavený SW Microsoft Excel a Vernier Graphical Analysis

Bezpečnost práce

V této úloze se nepracuje s nebezpečnými látkami. Žáci pracují s natlakovanou skleněnou nádobou. Ta je ponořena do vodní lázně uvnitř kádinky, a tak by nemělo hrozit žádné nebezpečí. Nejpravděpodobnější slabé místo experimentu je gumová zátka, která může být tlakem vytlačena. Je však hadičkou připojena k tlakovému čidlu a neměla by

tak být nijak nebezpečná. Spíše se jedná o riziko ztráty dat. Měření však netrvá dlouho, a lze ho tedy ihned spustit znovu po vyměnění za studenou vodu a lázeň. V návodu je zmíněno, aby byla zátka zastrčena do baňky navlhčená, čímž se zlepši její těsnění.

Časový plán

Tabulka 5 - Úloha 1, časový plán

Žákovský experiment	Vlastní měření zabere zhruba 30 minut včetně přípravy, zpracování dat zabere odhadem dalších 30 minut. Celkový čas laboratorního cvičení alespoň tedy 60 minut.
Demonstrační experiment	Lze provést i během jiné didaktické činnosti, ohřev samotný trvá přibližně 15 minut, vyhodnocení pedagogem s následnou diskusí také 15 minut.

Technické poznámky

Základní tlaková čidla Vernier a PASCO mají deklarovaný vrchní limit 2 atmosféry (200-210 kPa). Garantovaný limit bez poškození výrobcem je 4 atmosféry, při použití vody by tedy nikdy nemělo dojít k poškození přetlakem. Nepoužívejte tzv. barometrická čidla, která mají úzký pracovní rozsah cca 0,8-1,2 atmosféry!

Otázky k zamyšlení

První položka pracovního listu pro žáky slouží k uvedení do problematiky a ověření stávajících znalostí.

Tabulka 6 - Úloha 1, otázky k zamyšlení

Otázka 1	Proč z kapalin (například teplý čaj) stoupá pára, přestože samotná kapalina nevře?
Účel	Ověření stávající znalosti pojmů var a vypařování.
Otázka 2	Proč používáme v kuchyni papiňák k vaření masa?
Účel	Zvýšením tlaku se sníží zvýší teplota varu, čímž se urychlí denaturace bílkovin masa (princip procesu vaření masa).
Otázka 3	Co stojí více energie, ohřát 1 mol vody z 20 na 100 °C, nebo vypařit 1 mol vody při 100 °C?
Účel	Neočekáváme správnou odpověď, ale předvádíme otázku, na níž najdeme odpověď tímto měřením a zodpovíme ji při vyhodnocení. Bez pomoci tabulek/vyhledání veličin nelze u jednotlivých látek odhadovat chování s jakoukoliv jistotou.

Teoretická část

Detailní zpracování teorie je uvedeno v příloze – úloha 1, žákovská část.

V první části je uveden pojem tlak sytých par, pojem var, pojem teplota varu. Dále je zdůrazněn rozdíl mezi varem a vypařováním.

Další část je věnována odvození integrálního tvaru Clausiovy-Clapeyronovy rovnice (zjednodušený přibližný vztah) z rovnice Clapeyronovy (zcela přesné). Je zavedena molární výparná entalpie zjednodušeně jako konstanta platící pro celý rozsah teplot. Tato část je relativně pokročilým učivem a vyžaduje do určité míry porozumění diferenciálnímu počtu. V případě, že učitel necítí potřebu tuto teorii zahrnout, není to ke škodě materiálu. Učitel pak představí Clausiovu-Clapeyronovu rovnici v integrálním tvaru jako hotový odvozený vztah (Klouta 2002).

Poslední část zavádí křivku sytých par a fázový diagram kapalina – plyn.

Úkoly

Tabulka 7 - Úloha 1, úkoly

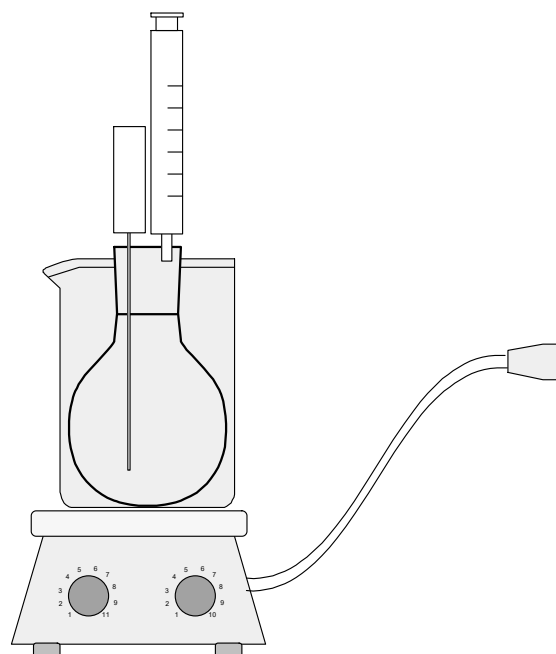
Úkol 1	Proměřit křivku nasycených par a vynést graf závislosti tlaku nasycených par na teplotě
Kritérium splnění	Odevzdaný graf závislosti tlaku nasycených par na teplotě, formálně správně zpracovaný (označení os, rozumné měřítko, nadpis, správný typ grafu, viz příloha Úloha 1, žákovská část)
Úkol 2	Vyjádřit a vypočítat molární výparnou entalpii z Clausiovy-Clapeyronovy rovnice
Kritérium splnění	Hodnota molární výparné entalpie ve správných jednotkách, řádově správná
Úkol 3	Vyřešit 3. otázku k zamyšlení – stojí více energie ohřev vody, nebo její vypaření?
Kritérium splnění	Správná odpověď získaná výpočtem za použití konstant molární výparné entalpie (vypočítaná) a měrné tepelné kapacity (zadaná).

Pracovní postup a postup zpracování dat

Detailní zpracování návodu je uvedeno v příloze – úloha 1, žákovská část.

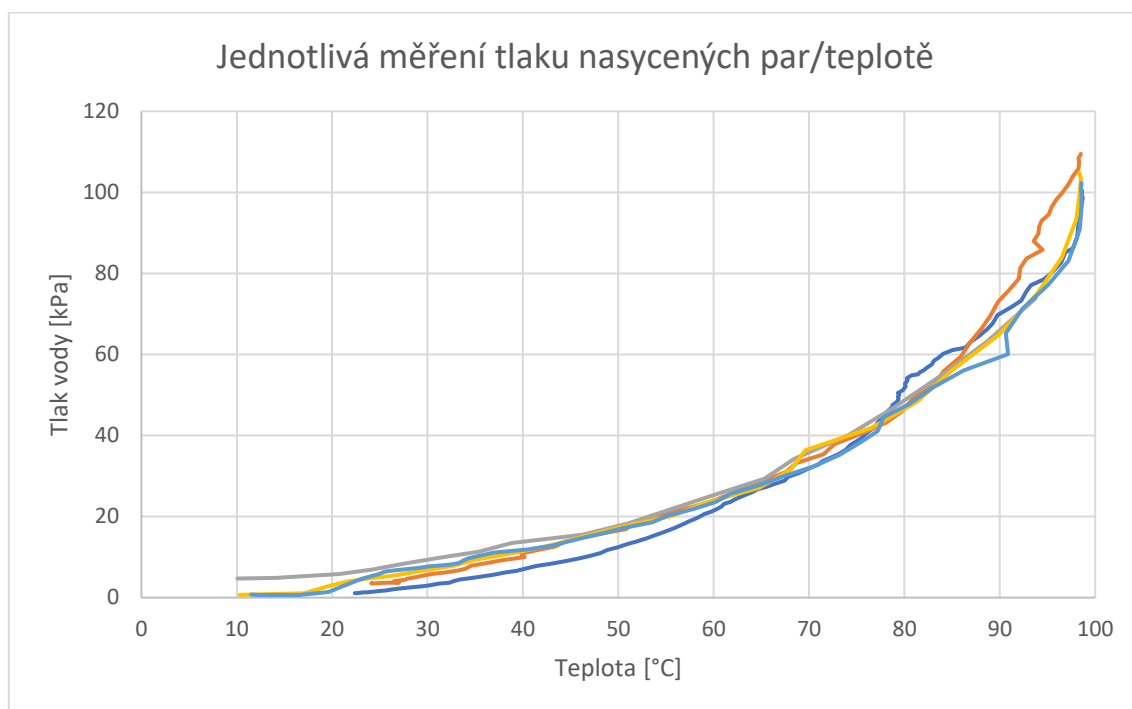
Návod je zpracován pro práci s čidly Vernier, lze jej však relativně snadno adaptovat na jakýkoliv systém využívající konstrukčně podobná čidla, například PASCO.

Návrh aparatury je zobrazen vpravo. Vzhledem k potřebě dobrého těsnění lze měřit teplotu lázně místo teploty uvnitř baňky, a omezit tak počet otvorů na jeden.



Obrázek 3 - Úloha 1, aparatura

Naměřené hodnoty



Graf 3 - Úloha 1, jednotlivá měření křivek sytých par vody

Tabulka 8 - Úloha 1, vypočtené molární výparné kapacity

Měření	Molární výparná entalpie [kJ/mol]
1	57,6
2	42,8
3	47,2
4	49,9
5	49,5

Tabelovaná hodnota je pro vodu při 100 °C 40,655 kJ/mol (Vohlídal, Štulík, a Julák 1999). Vzhledem k vysokému vlivu drobných nepřesností tlaku je za přijatelnou hodnotu považován správný výpočet s výsledkem v desítkách kJ/mol (dostatečný na zodpovězení otázky č. 3).

Hodnocení výsledků

Zdroje chyb měření z teorie:

- Clausiova-Clapeyronova rovnice není zcela přesná

- Molární výparná entalpie není s teplotou konstantní, naopak je na ní závislá, byť nikoliv dramaticky
- Uvažujeme ideální chování plynu při použití Daltonova zákona parciálních tlaků

Dále byly uvažovány tyto zdroje chyb při provedení experimentu:

- Hodnota entalpie je počítána z počátečního a konečného páru tlaku a teploty, pokud jsou tedy výrazněji chybné, přesnost tohoto výpočtu výrazně utrpí. Toto řešení bylo zvoleno jako kompromis – lze počítat entalpii po každé změně teploty/tlaku, nicméně pokud chceme více bodů na vykreslení křivky, hrozí občas zaznamenání nulové či dokonce záporné změny, z které je poté vypočtená hodnota entalpie zcela nesprávná. Čištění dat potom zbytečně komplikuje vyhodnocení studenty a vyvolává dojem, že data, která se nám nehodí prostě smažeme. Pokud tento problém zkusíme částečně obejít dlouhou prodlevou mezi záznamem dat, bude naopak méně kvalitní získaná křivka.

Tato úloha byla ověřena při měření s žáky střední odborné školy. Úloha byla zadána dvěma studentům třetího ročníku Masarykovy střední školy chemické absolujícími praxi na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy. Měření proběhlo bez problémů po technické i teoretické stránce. Studenti považovali veškeré oblasti za srozumitelné, nebyli překvapeni žádnými pojmy nebo koncepty, dokázali správně vysvětlit prováděné činnosti a správně naměřili hodnoty a vyhodnotili měření. Studenti tak byli na téma připraveni „dle očekávání“ – danou látku probírali v tomto školním roce tak, jak je uvedeno v ŠVP jejich školy (MSŠCH 2018).

Úloha 2: Nefelometrické stanovení bílkovin a lipidů v mléce

Didaktický záměr

Nefelometrie a turbidimetrie nepatří mezi běžné úlohy prováděné ve středoškolské laboratoři. Jejich uplatnění je však velmi důležité v oborech zabývajících se ochranou životního prostředí a úpravou vody, potravinářstvím a biochemií, kde jsou momentálně uplatňovány např. v imunologii. Jedná se o technicky i didakticky náročnější úlohu. Zpracovaná úloha je založena na odborném článku (Beitz, Phillips, a Eklund 1977) a na základě vlastní práce zjednodušena pro podmínky SOŠ.

Cíle a výstupy

Tabulka 9 - Úloha 2, cíle a výstupy

Cíl 1	Seznámení s nefelometrickou metodou
Výstup 1a	Žák vysvětlí pojem koloidní soustavy
Výstup 1b	Žák stručně popíše princip nefelometrie (měříme rozptyl světla, jemně zakalené roztoky) a turbidimetrie (měříme snížení intenzity světla prošlého roztokem, silněji zakalené roztoky)
Cíl 2	Žák se seznámí s problematikou stanovení přírodních látek/potravin
Výstup 2	Žák vyjmenuje příklady několika biomolekul, které lze v mléce očekávat (např. protein kasein, cukr laktózu, vitamíny, vápenaté ionty, triacylglyceroly, cholesterol)

Mezioborové vztahy

Tabulka 10 - Úloha 2, mezioborové vztahy

Obecná chemie	Směsi, disperzní soustavy
Ekologie/OŽP	Hydrosféra, kvalita pitné vody, znečištění vod a eutrofizace
Analytická chemie	Analýza potravin
ICT	Zpracování dat a prezentace dat, použití lineární regrese

Použitá čidla

Kolorimetr/čidlo turbidity PS-3215. Jedná se o nefelometr – měří rozptyl světla pod pravým úhlem. Rozsah měření 0-400 NTU.

Chemikálie

Proteinové činidlo:

Tabulka 11 - Úloha 2, složení proteinového činidla

acetanhydrid	ledová kyselina octová (99%+)	p-toluensulfonová kyselina
15,75 ml	83,75 ml	0,5 g




Další pomůcky

- Pipeta 5 ml dělená
- Automatická pipeta 10-100 µl
- Skleněná kyveta

- Plastové kapátko
- Filtrační papír archy/chemická podložka pro podložení pracovní plochy
- Rukavice latex/vinyl, nebo ideálně pro práci s kyselinami
- Ochranný štít
- Zkumavky (objem alespoň 10 ml) a pasující zátky
- počítač pro záznam dat vybavený SW Microsoft Excel a Graphical Analysis (Vernier)

Bezpečnost práce

Tabulka 12 - Úloha 2, bezpečnost práce

ledová kyselina octová (kyselina octová 99+ %)	
acetanhydrid	
kyselina p-toluensulfonová	

Je třeba zajistit, aby žáci pracovali s činidlem v rukavicích (latex, vinyl nebo lépe kyselinovzdorné (California State University, Long Beach 2021)), s ochranným štítem a v digestoři!

Časový plán

Tabulka 13 - Úloha 2, časový plán

Žákovský experiment	Vlastní měření zabere zhruba 45 minut včetně přípravy, zpracování dat zabere odhadem dalších 15-30 minut. Celkový čas laboratorního cvičení tedy dvě vyučovací jednotky.
Demonstrační experiment	Lze provést i během jiné didaktické činnosti, například teoretické hodiny o měření zákalu. Technicky lze stihnout během jedné hodiny.

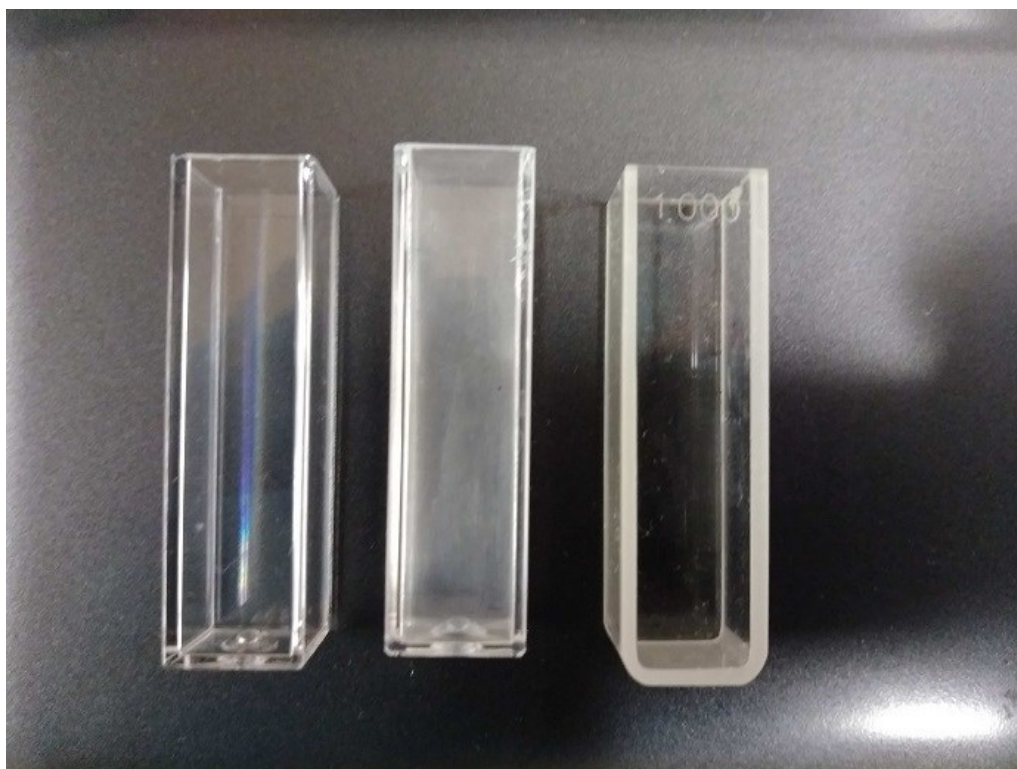
Technické poznámky

V případě menšího počtu studentů je vhodné uspořádat celý experiment v digestoři, aby se zabránilo šíření výparů kyseliny octové při plnění kyvety.

K získání standardů kalibrační křivky k měření obsahu proteinu a lipidů použijte vzorek stejného typu, jaký měří studenti. Pokud měříte mléko, jak je standardně uvažováno, použijte jako standard mléko, pokud možno stejného typu. Získá se tím standard s vlastnostmi blízký vzorku a omezí se tak vznik chyb způsobený například různou rozpustností proteinů/lipidů.

Pokud máte k dispozici například laserové ukazovátko, můžete ho použít k ukázce Tyndallova jevu v roztoku mléka, případně naředěném vodou.

Činidlo připravené k experimentu je značně žíravé, je schopno naleptat plast. Je nutné používat skleněnou (nebo křemennou) kyvetu, která se však k přístroji standardně nedodává, jeho součástí je pouze sada plastových kyvet. Nezapomeňte také na to, že kyveta musí mít všechny strany opticky propustné, nezbroušené, jelikož nefelometr měří v pravém úhlu. Na obrázku níže lze vidět vlevo novou plastovou kyvetu, uprostřed kyvetu po delším měření, která ztratila optické vlastnosti, a vpravo skleněnou kyvetu, odolnou proti použitému činidlu.



Obrázek 4 - Úloha 2, srovnání odolnosti kyvet

Otázky k zamyšlení

Tabulka 14 - Úloha 2, otázky k zamyšlení

Otázka 1	Proč můžeme v mlze pozorovat kužel světla z reflektorů vozidla, zatímco za pěkného počasí ne? (obrázek, viz příloha)
Účel	Jednoduchá odpověď, kterou od žáků očekáváme je rozptyl světla na kapkách vody tvořících mlhu.
Otázka 2	Jak byste popsali mlhu? Z čeho je složen dým? Co například pěna nebo suspenze? Co mají tyto směsi společného?
Účel	Navedení k tématu disperzních soustav, koloidů, Tyndallův jev. Očekávaná odpověď je, že se jedná o heterogenní disperzní směsi.

Teoretická část

Detailní zpracování teorie je uvedeno v příloze – úloha 2, žákovská část.

Zavádíme disperzní systémy, jejich rozdělení dle velikosti částic (Mareček a Honza 1998) a pro koloidy zavádíme Tyndallův jev. Dále se diskutuje nefelometrie a turbidimetrie a jejich využití ve výzkumu a analýze (Klouda 2002).

Úkoly

Úkol 1	Proměřte kalibrační křivku standardu s ohledem na obsah bílkovin a lipidů
Kritérium splnění	Dvě kalibrační křivky, ze kterých lze určit koncentraci vzorku, ve formě grafu
Úkol 2	Určete obsah bílkovin a lipidů ve vašem vzorku
Kritérium splnění	Hodnota obsahu proteinu a lipidu ve vzorku v mg/μl, g/ml, g/l nebo hmotnostních procentech.

Pracovní postup a postup zpracování dat

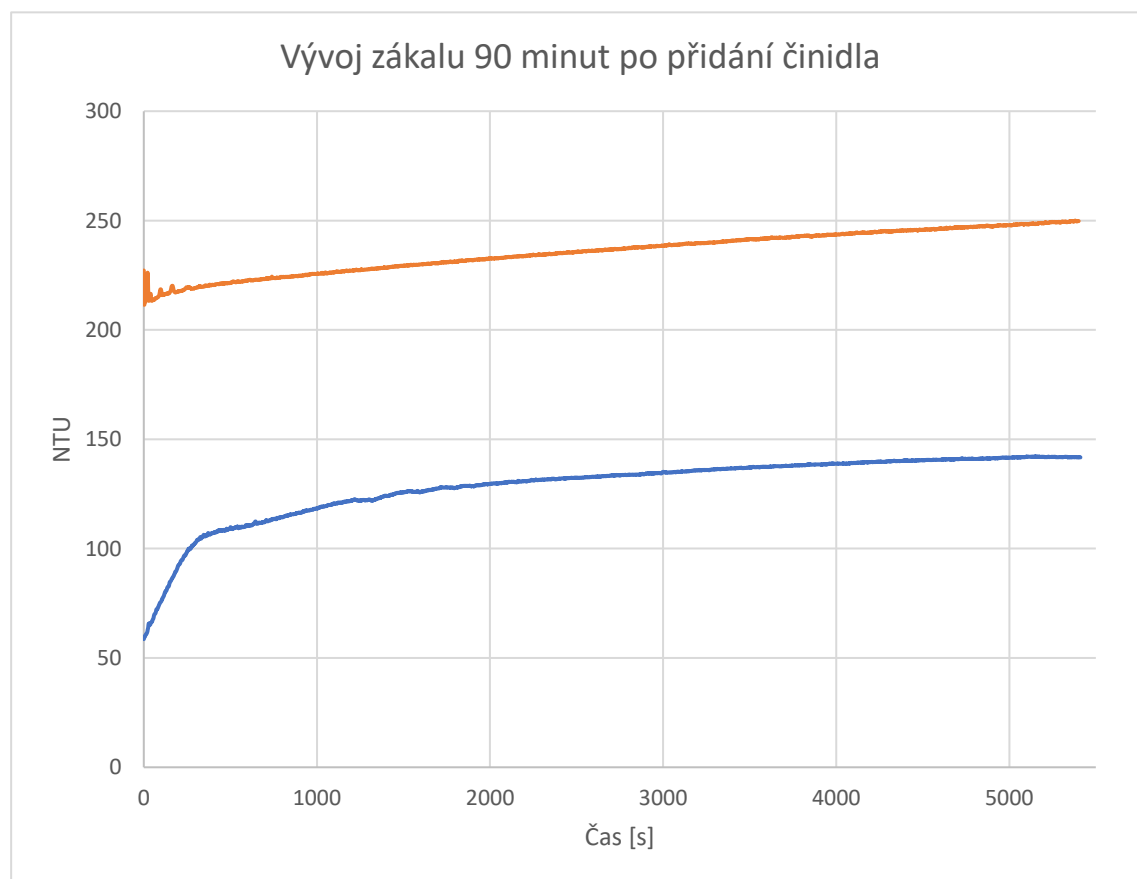
Detailní zpracování návodu je uvedeno v příloze – úloha 2, žákovská část.

Návod je zpracován pro práci s čidly PASCO a softwarem SPARKvue. Teoreticky lze úlohu přepracovat na jiné uspořádání a s čidly různých výrobců, je však třeba ověřit rozsah měření/reprodukovatelnost.

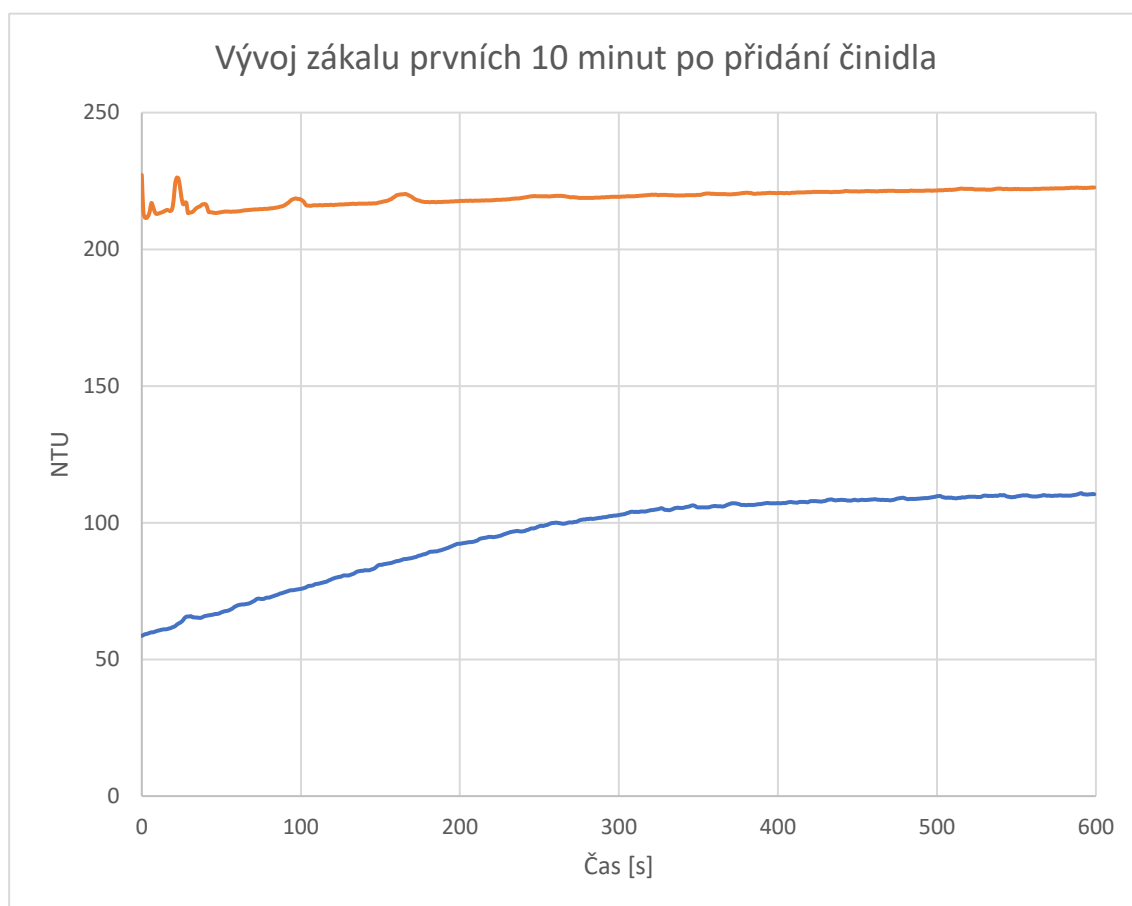
Naměřené hodnoty

Prvním důležitým parametrem, zmíněným v původním článku, je časový vývoj zákalu (měřeného v jednotkách NTU). Dle původního návodu je nejlepší měřit zákal proteinu po 50 minutách a zákal lipidů po dalších 10 minutách. Vzhledem na organizaci laboratorního cvičení byl proveden pokus omezit tuto dobu čekání. Bylo provedeno měření roztoků po reakci s činidlem po dobu 90 minut, a zvlášť je zvýrazněno prvních 10 minut stejného měření, kde dochází k nejvýraznějšímu vývoji zákalu.

Výsledky jsou přehledně v následujících dvou grafech. Pro potřeby školní laboratoře je tedy možné provést měření dříve a nedopustit se zásadní chyby (pokud jsou všechny vzorky proměřeny po srovnatelné době).



Graf 4 - Úloha 2, vývoj zákalu během 90 minut



Graf 5 - Úloha 2, vývoj zákalu během prvních 10 minut

K měření byly použity tyto vzorky:

Tabulka 15 - Úloha 2, použité vzorky

Vzorek	Proteiny %	Lipidy %
Mléko plnotučné (kalibrace)	3,2	3,5
Mléko polotučné	3,2	1,5
Vaječný žloutek	16,2	28,8
Mléko kondenzované	5,9	7,5

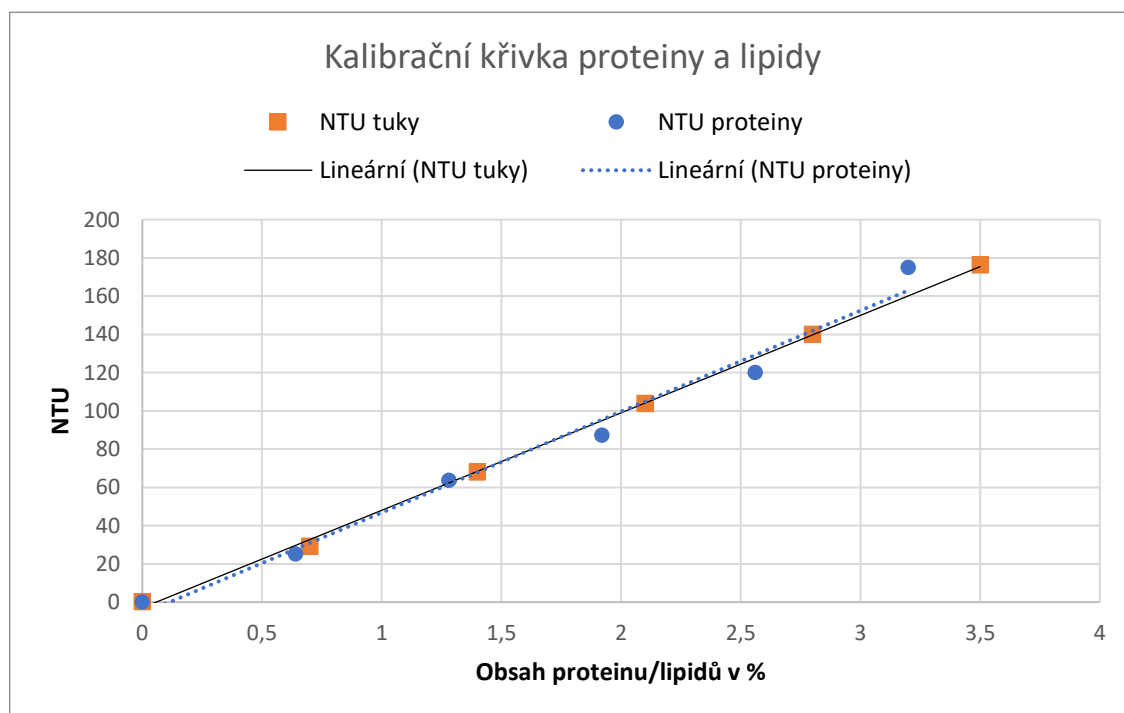
Informace o složení pochází z nutričních informací na obalu, informace o složení žloutku z (Agricultural Research Service, U.S. Department of Agriculture 2019).

Kalibrační křivka byla vytvořena dávkováním plnotučného mléka 0-10-20-30-40-50 mikrolitrů. Vzorků bylo dávkováno vždy 50 mikrolitrů.

Vaječný žloutek byl naředěn desetkrát, kondenzované mléko pětkrát, čímž se dostali do oblasti kalibrace. Pro měření těchto vzorků je vhodné použít vlastní kalibraci, nicméně po technické stránce na ně lze tento postup (navržený na stanovení mléka) rozšířit. Všechna měření byla prováděna 3x.

Tabulka 16 - Úloha 2, naměřené hodnoty

	Mléko polotučné		Žloutek vaječný 1:10		Mléko kondenzované 1:5	
	Protein	Tuk	Protein	Tuk	Protein	Tuk
1	3,786736	1,531601	0,765496	0,862711	2,172001	1,71991
2	4,244843	1,692448	1,210353	1,821911	2,113317	1,843488
3	4,265667	1,70814	1,098665	1,109867	2,156856	1,678717
Průměr	4,099082	1,644063	1,024838	1,264829	2,147391	1,747372
Skutečný	3,2	1,5	1,62	2,88	1,18	1,5



Graf 6 - Úloha 2, kalibrační křivky

Hodnocení výsledků

Lipidy v mléce byly stanoveny s chybou cca 10 %. Výsledek stanovení proteinu byl s větší chybou, jelikož byl zatížen chybou na konci kalibrační křivky (bylo potřeba naředění). Ostatní měření byla zatížena větší chybou, pravděpodobně použitím standardu o jiném proteinovém/lipidovém složení, zřejmě je vhodné provést kalibraci na konkrétní zdroj proteinů a lipidů. Zkrácení doby „inkubace“ viditelně neovlivnilo linearitu měření.

Použité činidlo je tvořeno relativně nebezpečnými chemickými látkami a acetanhydrid je prekursorem kategorie 2 (Evropský parlament a Rada Evropské unie 2004), vyžadující bezpečné skladování a dodatečnou administrativu (Parlament ČR 2013). Proto by bylo zajímavým rozšířením této metody pokusit se nalézt alternativní

činidlo, které by poskytovalo stejně kvalitní reakci, zejména pokud bychom chtěli úlohu provádět na gymnáziu. Nicméně na SOŠ se jedná o relativně běžnou chemikálii, používanou například v úloze přípravy kyseliny acetylsalicylové.

Úloha 3: Skleníkový efekt

Didaktický záměr

Tato úloha je zejména na portálu YouTube rozšířená (eniscuolachannel 2014; Erik Christensen 2011; Joe Collins 2009), provádí se však často v relativně nesystematické formě. Určitě nepatří k náročným, nabízí však široké množství propojení s tématy z chemie, biologie a fyziky. Lze ji využít k doplnění tématu uhlíku, stavby atomu, uhlíkového cyklu či fotosyntézy. Využití čidel pro tuto úlohu je zejména vhodné, protože je při malých relativně změnách teplot důležité izolovat chyby způsobené nekonzistencí měření, zdroje záření a podobně.

Pokud vybereme jednu z dostupných úloh jako vzor (eniscuolachannel 2014), je hned zřejmé, že takovéto domácí provedení zanáší do experimentu mnoho proměnných, které pro studenty mohou být matoucí, a mohou vést k nesystematickým a nereprodukovatelným výsledkům. Například pokud je jedna z nádob zcela prázdná a druhá obsahuje kapalinu, pravděpodobně je naměřený skleníkový efekt z většího podílu tvořen vodní parou než oxidem uhličitým. Využití ŠMS také umožňuje vyšší přesnost a záznam průběhu oteplování a může sloužit také jako materiál k ověření pochopení tématu, například otázkou *Označte v grafu, v které chvíli byl do nádoby napumpován oxid uhličitý a kdy byl napumpován vzduch.*

Cíle a výstupy úlohy

Tabulka 17 - Úloha 3, cíle a výstupy

Cíl 1	Opakování základů absorpce a emise záření atomy
Výstup 1	Žák vysvětlí, jak atomy hmoty interagují se zářením (absorpce a emise v elektronovém obalu) použitím znalostí o složení atomu
Cíl 2	Seznámení se skleníkovým efektem a jeho vlivem na teplotu prostředí
Výstup 2a	Žák vysvětlí, jakým mechanismem způsobuje oxid uhličitý a ostatní skleníkové plyny oteplování (ztráta energie mezi absorpcí a emisí v podobě tepla, zadržování paprsků v atmosféře a její ohřev, odraz světla zpět k zemi a její ohřev)
Výstup 2b	Žák vyjmenuje alespoň 2 důležité skleníkové plyny (oxid uhličitý, vodní pára, methan)
Cíl 3	Žák pozoruje skleníkový efekt v reálném čase
Cíl 4	Žák získá nebo zopakuje informace o složení atmosféry
Výstup 4	Žák popíše složení atmosféry (obsah hlavních plynů, obsah CO ₂)
Cíl 5	Žák provede přípravu oxidu uhličitého
Výstup 5	Žák navrhne přípravu oxidu uhličitého v laboratorním a domácím prostředí (soda a ocet)

Mezioborové vztahy

Tabulka 18 - Úloha 3, mezioborové vztahy

Biologie/ekologie	téma koloběhu uhlíku, fotosyntéza
ICT	práce s měřicím software, interpretace z grafu
Analytická chemie	optické metody, spektroskopie
Obecná chemie	stavba atomu a elektronový obal
Biochemie	fotosyntéza
Fyzika	optika, absorpce záření hmotou

Použitá čidla

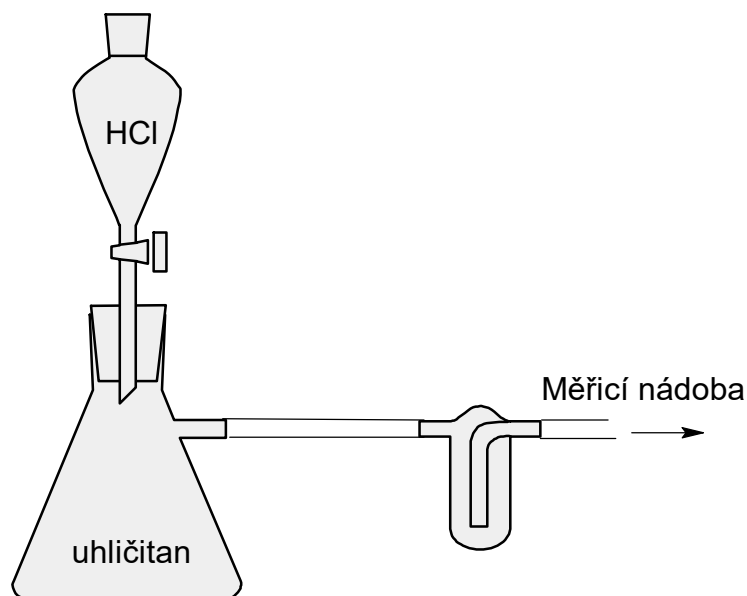
V úloze byla využita základní teplotní čidla Vernier TMP-BTA. Na teplotní čidla zde nejsou žádné speciální požadavky, pohybujeme se při pokojových teplotách. Čidlo má rozsah -40 až 135 °C. Zapotřebí jsou dvě teplotní čidla.

Chemikálie

- Uhličitan nebo hydrogenuhličitan pro přípravu CO_2 . Lze také využít přírodnin (vápence, mramoru). Použit byl hydrogenuhličitan sodný čistý.
- Kyselina chlorovodíková zředěná. Byla použita 10%, lze použít větší zředění, aby bylo dosaženo lepší kontroly přídávku a méně bouřlivé reakce. Zředěná kyselina chlorovodíková je stále žravinou.

Další pomůcky

- Dvě měřicí nádoby. Bylo využito Erlenmeyerových širokohrdlých baněk o objemu 250 ml.
- Zdroj záření. Byly použity dvě shodné lampy s LED žárovkou o výkonu 20 W, vyzařující studené světlo.
- Zátky do měřicích nádob s otvory. Do srovnávacího měření stačí jeden otvor. Do nádoby, kam bude pumpován oxid uhličitý byla vyvrtána korkovrtem zátka s třemi otvory. Do jednoho byla vložena trubička, na kterou bylo možno připojit hadičku od výrobce CO_2 , další otvor sloužil k vyrovnávání tlaku/vytlačování původní atmosféry, a třetí otvor je pro čidlo.
- Těsnění k čidlům. Během měření byl použit parafilm k obalení nerezové měřicí části tak, aby při zasunutí do baňky byl spoj relativně těsný – není nutné dosáhnout dokonalosti. Lze použít například hliníkovou folii nebo plastelínu.
- Baňka pro vývoj oxidu uhličitého. Byla použita 250 ml nezábrusová destilační baňka s bočním vývodem.
- Dělicí nálevka 250 ml se zátkou pasující do baňky k vývoji plynu
- Gumové hadičky k vedení plynu
- Předvážky a lžička
- Odměrný válec 100 ml
- Do aparatury lze zařadit prázdnou promývačku nebo past na odstranění kapaliny.



Obrázek 5 - Úloha 3, aparatura pro vývoj CO_2

Bezpečnost práce

Kyselina chlorovodíková je žíravinou. Při vývoji plynu je důležité myslet na to, aby aparatura netěsnila, jinak hrozí úraz při vystřelení některé části zvýšeným tlakem. Při napouštění tedy musí mít vzduch vytlačený z měřicí nádoby kudy unikat (viz zátka s třemi otvory popsána výše).

Časový plán

Tabulka 19 - Úloha 3, časový plán

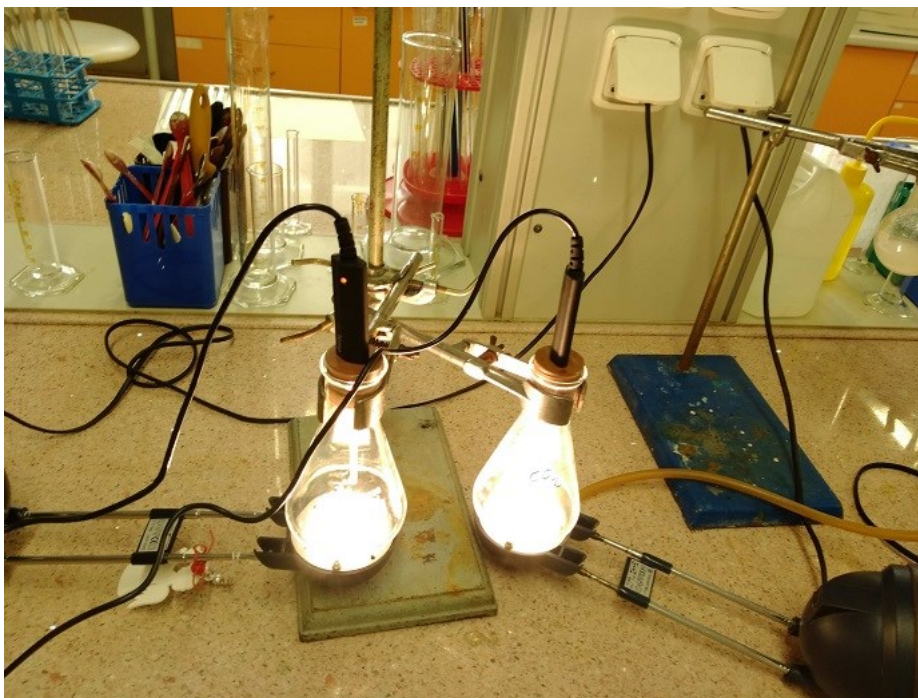
Žákovský experiment	Vlastní měření zabere zhruba 60 až 90 minut včetně přípravy – ohřev, případně chlazení, zabere dost času. Nicméně se neprovádí žádné zpracování dat.
Demonstrační experiment	Úlohu lze provést jako demonstraci, pokud je provedena předem „kalibrace“ zdroje záření, samotné provedení a stabilizace teploty zaberou zhruba 15 minut.

Technické poznámky

Dosažení stejné teploty v obou baňkách naplněných vzduchem není zcela nezbytné, nicméně pomůže omezit sledovaný efekt pouze na samotný oxid uhličitý. Použijte suché nádoby, zamezíte tím skleníkovému efektu vodní páry při ohřívání nádoby.

Během kalibrace a měření může vzniknout časová prodleva, kdy studenti pouze sledují změny teplot. Je zde velmi na místě například zařadit pracovní list s tematikou skleníkového efektu/globálního oteplování.

Uspořádání experimentu je důležité pro kvalitu výsledků. První pokus byl proveden s měřicí nádobou zavěšenou těsně na zdroji záření. Skleníkový efekt zde byl „přebit“ efektem vedení tepla přes nádobu samotnou.



Obrázek 6 - Úloha 3, první uspořádání experimentu



Obrázek 7 - Úloha 3, finální uspořádání experimentu

Druhé sestavení bylo již úspěšnější. Ozáření bylo provedeno ze spodní ploché části Erlenmeyerových baněk. Tento způsob organizace experimentu byl potřebný pro dostatečný ohřev plynu, jelikož lampy nebyly příliš výkonné při osvětlení v běžné poloze a zároveň bylo náročné dosáhnout stejné intenzity záření v obou sestavách.

Otázky k zamyšlení

Tabulka 20 - Úloha 3, otázky k zamyšlení

Otázka 1	Jaké je složení zemské atmosféry? Kolik obsahuje oxidu uhličitého?
Účel	Poměr kyslík/dusík/argon by žáci měli znát, obsah oxidu uhličitého ale nebývá tak známý – je potřeba, aby pochopili, že i drobné množství skleníkového plynu v atmosféře způsobí značný efekt
Otázka 2	Skleníkový efekt zahrnuje vícero přispívajících efektů. Jak se slunečním zářením interagují atomy? Zkuste si pomoci schématem atomu dle Bohra.
Účel	Absorpce a emise v elektronovém obalu. Ke skleníkovému efektu přispívá rozptyl v atmosféře i odraz zpět na zem.
Otázka 3	Jak byste připravili v laboratoři oxid uhličitý? Navrhněte vhodnou reakci.
Účel	Zápis reakce uhličitanu/hydrogenuhličitanu s kyselinou.

Teoretická část

Detailní zpracování teorie je uvedeno v příloze – úloha 3, žákovská část.

V teoretické části je stručně shrnuta interakce hmoty se zářením a jednotlivé efekty, které přispívají k celkovému skleníkovému efektu. Je vhodné doplnit například videem na toto téma, dovolím si doporučit například video z naučného cyklu NEZkreslená věda pod záštitou Akademie věd České republiky (Otevřená věda 2020) či populárně-naučný článek na webu Přírodovědci.cz (Šmejkal a Kotek 2013).

Úkoly

Tabulka 21 - Úloha 3, úkoly

Úkol 1	Sestavte dvě měřicí nádoby dle pokynů učitele tak, aby na ně dopadalo záření se stejnou intenzitou
Kritérium splnění	Žáci předvedou učiteli shodnou ustálenou teplotu v obou nádobách po sestavení aparatury a spuštění měření.
Úkol 2	Sestavte aparaturu k přípravě oxidu uhličitého
Kritérium splnění	Žáci sestaví správně aparaturu dle návodu a nechají si ji zkontrolovat vyučujícím.
Úkol 3	V jedné z měřicích nádob ovlivněte teplotu přidáním či odstraněním skleníkových plynů
Kritérium splnění	Žáci předvedou naměřený graf teplot, ve kterém lze pozorovat zvýšení teploty po napuštění nádoby oxidem uhličitým.

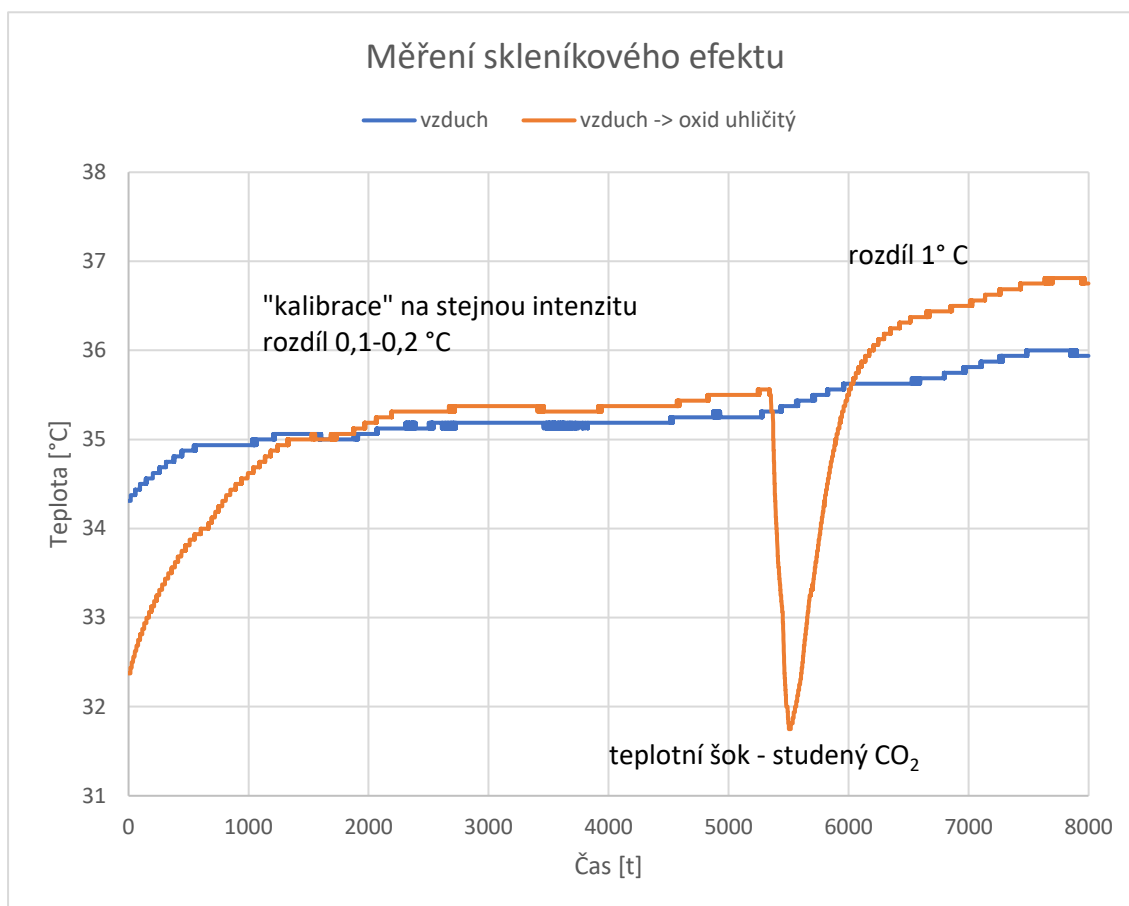
Pracovní postup

Detailní zpracování návodu je uvedeno v příloze – úloha 3, žákovská část.

Návod je zpracován pro práci s čidly Vernier a softwarem Graphical Analysis. Úlohu lze snadno přepracovat pro jiné systémy vzhledem k jednoduchosti měření.

Naměřené hodnoty

V grafu níže lze sledovat typický vývoj experimentu.



Graf 7 - Úloha 3, naměřený skleníkový efekt

Hodnocení výsledků

Naměřený rozdíl teplot závisí od množství vyprodukovaného oxidu uhličitého a uspořádání aparatury. Během měření bylo dosaženo rozdílů mezi 1 a 3 °C. Tyto hodnoty jsou nižší, než je typicky naměřeno v podobných experimentech, kdy je v prostředí voda, je tedy možné, že jsou tyto experimenty mírně zavádějící co do příspěvku oxidu uhličitého k měřenému efektu (eniscuolachannel 2014; Erik Christensen 2011; Joe Collins 2009).

Úloha 4: Extrakce limonenu

Didaktický záměr

V teoretické části této práce byl v rozboru existujících úloh diskutován nedostatek úloh z organické chemie a problematika využití čidel pro vodné prostředí v organické chemii. Také zde chybí úlohy na klasické extrakce a stanovení extrahovaných látek. K takovéto úloze jsou k dispozici některá méně obvyklá čidla – plynový chromatograf, polarimetr či bodotávek. Tato úloha byla koncipována jako extrakce rozšířená

o identifikaci extrahované látky plynovým chromatografem vůči známému standardu a seznámení s naměřenými chromatogramy.

Cíle a výstupy úlohy

Tabulka 22 - Úloha 4, cíle a výstupy

Cíl 1	Seznámení se silicemi a jejich uplatněním
Výstup 1	Žák vysvětlí alespoň 1 využití limonenu (aromata, zelená rozpouštědla, histologie)
Cíl 2	Provedení extrakce destilací s vodní parou
Výstup 2a	Žák je schopen provést destilaci s vodní parou, včetně sestavení aparatury
Výstup 2b	Žák vysvětlí, pro jaké soustavy je tato metoda vhodná (látká nerozpustná ve vodě, s vyšší teplotou varu, při destilaci čisté látky hrozí rozklad)
Cíl 3	Dokázání charakteru extrahované látky – alkenu
Výstup 3	Žák navrhne důkaz limonenu – alkenu, případně jej i provede
Cíl 4	Ukázka plynové chromatografie
Výstup 4	Žák schematicky popíše plynovou chromatografii

Mezioborové vztahy

Tabulka 23 - Úloha 4, mezioborové vztahy

ICT	ovládání chromatografu, vyhodnocení chromatogramu
Biologie	fytohormony, histologie
Obecná chemie	separační metody (soustavy látek)
Analytická chemie	instrumentální separační metody, plynová chromatografie

Použitá čidla

Nejdůležitější složkou pomerančové silice je D-limonen, chemicky alken, s teplotou varu 176 °C (International Labour Organization 2005).

Pro měření byl otestován Vernier Mini GC, který však pro toto stanovení není vhodný. Obsahuje kombinaci nepolární kolony a detektoru neschopnou stanovení uhlovodíků a také má nižší limit ohřevu kolony, 120 °C (Vernier Software & Technology 2012).

Novější verze, například Vernier Go Direct Mini GC, jsou vybaveny univerzální kolonou a detektorem schopnými měřit polární i nepolární látky a ohřevem až na 160 °C (Vernier Software & Technology 2020).

Chemikálie

Baeyerovo činidlo

- Připravíme 10% roztok uhličitanu v destilované vodě a přikápneme několik kapek koncentrovaného roztoku manganistanu draselného (Čtrnáctová 2000)

roztok bromu, nejlépe v nepolárním rozpouštědle

- byl použit brom v dichlormethanu, 1% roztok
- lze využít i dichlormethan apod., případně i bromovou vodu, která se však nemísí a je ji třeba protřepávat






D-limonen (standard)

Další pomůcky

- 2-3 větší pomeranče
- struhadlo
- jednoduchá destilační aparatura – destilační baňka 250 ml, (destilační hlava), chladič Liebigův, alonž, baňka 250 ml k zachycení destilátu, zátka s otvorem pro teploměr a teploměr, případně teploměr se zábrusem při použití zábrusového skla
- topné hnízdo nebo plynový kahan
- předvážky/analytické váhy pro zjištění přibližného/přesného výtěžku extrakce
- vialka k uchování limonenu
- dělicí nálevka
- počítač pro záznam dat vybavený SW Instrumental Analysis (Vernier)

Bezpečnost práce

Tabulka 24 – Úloha 4, bezpečnost práce

manganistan draselný	
Uhličitan sodný	
destilovaná voda	
brom	
dichlormethan	
limonen	

Limonen je relativně nebezpečnou látkou při styku s kůží, nicméně je běžné provést k jeho identifikaci čichový test bez zdravotního rizika.

Časový plán

Tabulka 25 - Úloha 4, časový plán

Žákovský experiment	Příprava a extrakce zabere zhruba 30-60 minut podle zkušeností žáků s destilacemi. Následné zkumavkové reakce jsou proveditelné během několika minut. Měření na plynovém chromatografu zabere nejméně další hodinu. Celkově tedy 3 vyučovací hodiny.
Demonstrační experiment	Destilace samotná není příliš zajímavou demonstrací vzhledem k časové investici a potřebě kontrolovat její průběh, nicméně demonstrace použití chromatografu nebo zkumavkových reakcí je vhodným doplněním hodiny teorie na téma instrumentálních separačních metod. Zde si učitel musí naplánovat čas podle plánovaných činností.

Technické poznámky

Jak je zmíněno výše, je nutné zajistit kompatibilitu kolony a detektoru s měřeným analytem, zde D-limonenem. Dále je potřeba najít takový profil měření, aby byl výsledný chromatogram přehledný a dosáhlo se úplné separace látek.

K experimentu lze jako motivační prvek na úvod zařadit vlastní experiment nebo video experiment o „hořlavosti pomerančů“, například (Tech Insider 2016). Tato demonstrace je velmi efektní.

Pokud je separace fází v dělicí nálevce pomalá, je možné si pomoci vysolením – stačí přidat několik lžiček chloridu sodného a rozpustit jej ve vodné fázi. Zvýšená polarita by měla destabilizovat emulzi silice-voda.

Otázky k zamyšlení

Tabulka 26 - Úloha 4, otázky k zamyšlení

Otázka 1	Zamyslete se, jaká znáte rozpouštědla z vaší laboratorní praxe. Napište alespoň 3 příklady, včetně názvu a vzorce. Jaký je mezi nimi rozdíl?
Účel	Zapsáním vzorců rozpouštědel pak můžeme navázat na jejich charakter při řešení polarity a využití pomerančové silice jako rozpouštědla.
Otázka 2	Vzpomeňte si na důkazové reakce alkenů. Jak dokazujeme ve sloučeninách dvojnou vazbu?
Účel	Obvykle bromací například bromovou vodou. Zde použijeme brom v dichlormethanu.
Otázka 3	Jaký je princip chromatografie? Do jaké kategorie metod spadá?
Účel	Instrumentální separační metoda, založená na různé afinitě látek ve směsi ke koloně.

Teoretická část

Detailní zpracování teorie je uvedeno v příloze – úloha 4, žákovská část.

Zavádíme zde pojem silice a esenciální olej a zkoumáme jejich typické vlastnosti a biologický význam. Dále rozebíráme metody izolace a konkrétně destilaci s vodní parou. Poté je věnován odstavec průmyslovému využití pomerančové silice.

Zbývající odstavce jsou věnovány důkazovým reakcím pomerančové silice jako alkenu a plynové chromatografii, jejímu využití a schematickému shrnutí konstrukce plynového chromatografu.

Úkoly

Tabulka 27 - Úloha 4, úkoly

Úkol 1	Extrahovat limonen z pomerančové kůry
Kritérium splnění	Žáci provedou destilaci s vodní parou a oddělí silici od vodné fáze
Úkol 2	Dokázat limonen zkumavkovými reakcemi
Kritérium splnění	Žáci provedou zmíněné reakce a dokážou přítomnost alkenu
Úkol 3	Proměřit chromatogram extraktu a standardu limonenu
Kritérium splnění	Žáci předvedou chromatogramy a označí rozdíly, případně identifikují stanovenou látku

Pracovní postup

Detailní zpracování návodu je uvedeno v příloze – úloha 4, žákovská část.

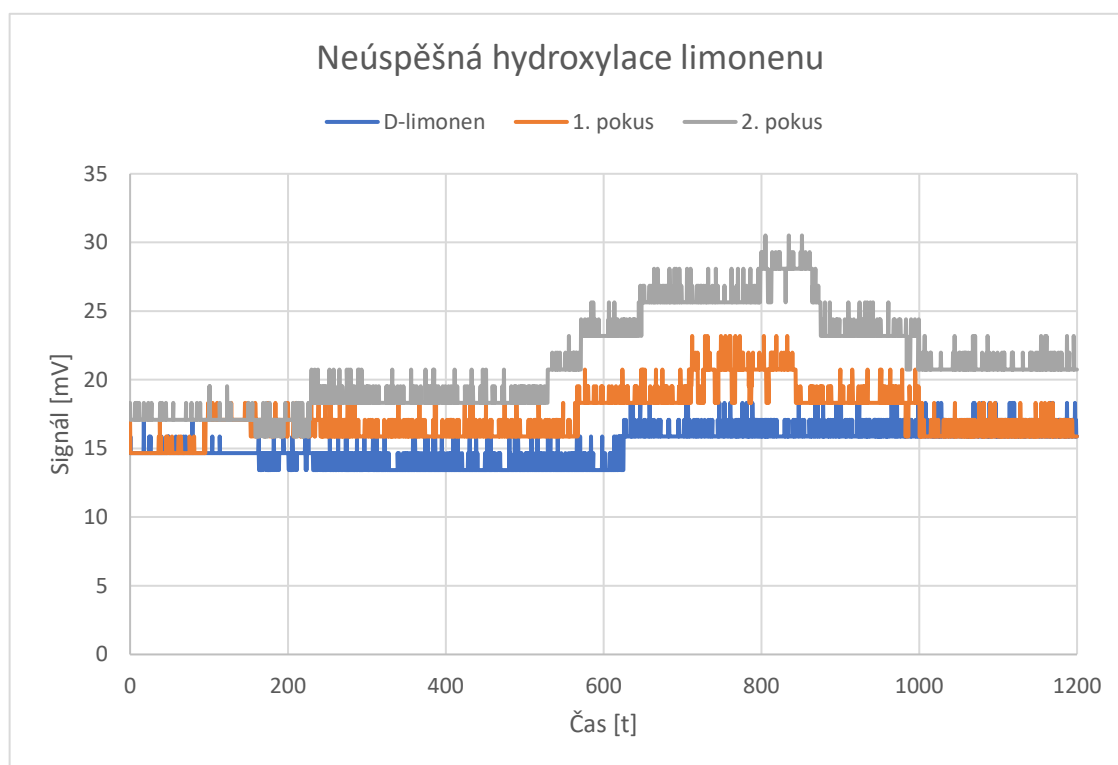
Pracovní postup je popsán pro sestavení aparatury pro destilaci s vodní parou a její následné provedení, rozdělení fází a izolaci silice. Následují důkazové reakce.

Detailní postup plynové chromatografie zde není popsán. Předpokládám, že škola má k dispozici návod ke konkrétnímu přístroji v laboratoři, a že měřicí profil ověří učitel pro daný konkrétní přístroj, který má k dispozici.

Naměřené hodnoty a hodnocení výsledků

Jak bylo již zmíněno, plynový chromatograf GC Mini, který byl aktuálně k dispozici, není vybaven vhodnou kolonou k separaci nepolárních látek, nepodařilo se tedy metodu ověřit. Protože se jedná o úlohu, která má být pro žáky o naučení postupů a principů měření na chromatografu, nevidím důvod, proč by na správně vybaveném chromatografu úloha selhala. Ostatní části úlohy byly ověřeny, včetně extrakce s výtěžkem 0,3988 g z 35,0 g kůry, odpovídající procentuálnímu výtěžku 1,14 % (s nečistotou v podobě malého množství vody).

Protože dostupný chromatograf je vybaven kolonou schopnou stanovení alkoholů, byl proveden pokus o hydroxylaci limonenu dle výše zmíněné reakce s Baeyerovým činidlem. Jak je vidět z chromatogramů níže, nebyla tato snaha úspěšná. Činidlo však jasně reagovalo za vzniku oxidu manganičitého, dochází tedy k reakci. Přímá oxidace za štěpení řetězce by měla být možná pouze v koncentrovaném horkém manganistanu, vzniklý produkt tedy nebyl jednoznačně identifikován. Po technické stránce je tato reakce nepraktická kvůli vzniku burelu, který je nerozpustný ve vodě, a jevil značnou afinitu k fázi limonenu, kterého je v reakci relativně málo, a vznikajícím burelem je zcela zamořen.



Graf 8 - Úloha 4, neúspěšná hydroxylace limonenu

Úloha 5: Identifikace aminokyselin pomocí pI

Didaktický záměr

Typické úlohy z biochemie se zaměřují zejména na téma proteinů a peptidů – biuretová reakce, xantoproteinová reakce apod., zatímco téma aminokyselin není v úlohách příliš pokryto. Tato úloha je tedy zaměřená na určování pK_A a pI aminokyselin, vlastností důležitých pro pochopení chování aminokyselin ve vodných a fyziologických podmínkách. Očekává se předchozí znalost teorie k tématu z hodiny Biochemie. Je zde

zmíněna také metoda gelové elektroforézy, která těchto vlastností využívá k separaci aminokyselin.

Cíle a výstupy úlohy

Tabulka 28 - Úloha 5, cíle a výstupy

Cíl 1	Žák získá představu o acidobazickém chování aminokyselin ve vodném prostředí
Výstup 1	Žák určí všechny acidobazické skupiny na konkrétní molekule aminokyseliny
Výstup 2	Žák vysvětlí pojem zwitterion a napíše rovnici jeho vzniku
Výstup 3	Žák vypočte pI ze známých pK_A jednotlivých skupin na aminokyselině
Výstup 4	Žák nakreslí majoritní formu aminokyseliny při daném pH a známém pK_A
Výstup 5	Žák navrhne metodu dělení aminokyselin za využití pI, například pomocí elektroforézy

Mezioborové vztahy

Tabulka 29 - Úloha 5, mezioborové vztahy

Matematika	Předpokládá se znalost výpočtu derivace v bodě / výpočtu první derivace k určení bodu ekvivalence. Pokud se diferenciální počet neprobírá, nebo nebude probrán včas, lze využít jiné metody hledání bodu ekvivalence, např. metodu rovnoběžek.
ICT	Práce s tabulkovým procesorem a prezentace dat
Analytická chemie	Separační metody – elektroforéza

Použitá čidla

Bylo použito základní pH Čidlo – PS-2102 firmy PASCO. Návod je tedy psán pro použití se software SPARKvue, nicméně jej lze snadno přepracovat pro použití jiného pH čidla.

Chemikálie

Vzorky volných aminokyselin či jejich solí, chemicky čisté. V rámci přípravy experimentu byly otestovány produkty dostupné na internetu, které se prohlašují za 100% čisté chemikálie bez přísad. Tyto produkty jsou pro školy velmi cenově dostupné. Pořízeny a otestovány byly tyto produkty, všechny z e-shopu pilulka.cz, od různých výrobců:

Tabulka 30 - Úloha 5, aminokyseliny zakoupené v e-shopu

Název produktu	Hmotnost	Cena	Chemické složení
GymBeam L-Lysine unflavored	250 g	86 Kč	100% L-lysin hydrochlorid
NutriWorks Glycine	200 g	349 Kč	100% glycine
MyProtein L-glutamine bez příchutě	250 g	189 Kč	100% L-glutamin



Obrázek 8 - Úloha 5, aminokyseliny zakoupené na pilulka.cz

Kromě aminokyselin zakoupených ve zmíněném e-shopu byl použit také cystein a histidin v p.a. kvalitě.

Dále jsou potřeba:

- kyselina chlorovodíková, 0,1 M
- hydroxid sodný, 0,1 M



Tato činidla není třeba standardizovat, v úloze není určována koncentrace aminokyseliny.

Další pomůcky

- stojan s klemou pro zachycení pH čidla
- kádinka vysoká, 150–250 ml
- magnetická míchačka s míchadlem
- byreta 50 ml
- pipeta 10 ml, k ní balonek či pipetovací nástavec
- předvážky
- Erlenmeyerova baňka 100 ml
- počítač pro záznam dat vybavený SW Microsoft Excel a SPARKvue (PASCO)

Bezpečnost práce

Tabulka 31 - Úloha 5, bezpečnost práce

0,1 M kyselina chlorovodíková	
0,1 M hydroxid sodný	

Zředěné 0,1 M roztoky kyseliny a zásady jsou stále žíravé, proto je potřeba dodržovat všechny zásady práce s žíravými látkami.

Časový plán

Tabulka 32 - Úloha 5, časový plán

Žákovský experiment	Vlastní měření zabere zhruba 45 minut včetně přípravy, zpracování dat zabere odhadem dalších 30-45 minut. Celkový čas laboratorního cvičení alespoň tedy 2 hodiny.
Demonstrační experiment	Úloha není koncipována jako demonstrační, její princip lze však s tímto záměrem přepracovat.

Technické poznámky

Jako vzorek je vhodné připravit studentům roztoky (nebo pevnou látku v baňce k doplnění na objem) o koncentraci 0,1 mol/l v 0,1 mol/l kyselině chlorovodíkové, která umožní titraci v celém rozsahu pH, a chrání roztoky proti rozkladu mikroorganismy. Příklad přípravy roztoku glycinu je uveden v didaktickém materiálu pro učitele v příloze.

Volba aminokyselin, které poslouží jako vzorky je velmi důležitá. Obecně aminokyseliny stejné kategorie jsou téměř nerozlišitelné. Ovlivnění pK_A karboxylové kyseliny a aminové skupiny je způsobeno především přítomností dalších polárních skupin. Aminokyseliny s hydrofobním (nepolárním) bočním řetězcem jsou tak od sebe touto metodou zcela nerozlišitelné.

Vhodnou aminokyselinou je například glycin, který má dvě hodnoty pK_A , dobře se rozpouští a lze jej snadno získat například v lékárně, viz níže. Další aminokyselinu lze zvolit z dvojice kyselin. Ty při titraci prozradí přechod do bazického prostředí až při dvou ekvivalentech NaOH. Vzhledem k blízkým $pK_{A,1}$ a $pK_{A,3}$ však hrozí nevýrazné vlny na křivce. Jako třetí vzorek lze použít například histidin, který má pěkně odstupňované a neextrémní pK_A , a lze jej tak titrovat do tří stupňů.

Otázky k zamyšlení

Tabulka 33 - Úloha 5, otázky k zamyšlení

Otázka 1	Jaké kyselé a bazické skupiny najdete na molekule glycinu? Všechny označte a poté doplňte chybějící nabitě molekuly.
Účel	Ověření znalostí o struktuře aminokyseliny a jejím náboji.
Otázka 2	Na titrační křivce vpravo najdete tři oblasti odpovídající třem formám glycinu. K jednotlivým oblastem doplňte převažující náboj molekuly (-1, 0, +1).
Účel	Porozumění titrační křivce aminokyselin a změně náboje v jednotlivých fázích titrace.
Otázka 3	Znáte nějakou metodu, která využívá náboj částic k jejich separaci?
Účel	Otázka je vedena směrem k elektroforéze, jsou možné i jiné odpovědi, například některé chromatografické metody.

Teoretická část

Detailní zpracování teorie je uvedeno v příloze – úloha 5, žákovská část.

Nejdříve jsou zopakovány acidobazické vlastnosti aminokyselin a pojem zwitterionu. Dále jsou definovány acidobazické disociační konstanty pro jednotlivé skupiny a boční řetězec. Poté je probrán celkový náboj aminokyseliny a izoelektrický bod.

Poslední část zmiňuje využití těchto vlastností při použití elektroforetického dělení aminokyselin.

Úkoly

Tabulka 34 - Úloha 5, úkoly

Úkol 1	Provést titraci aminokyseliny v širokém rozsahu pH
Kritérium splnění	Odevzdaná titrační křivka
Úkol 2	Určit jednotlivé pK_A aminokyseliny a její pI
Kritérium splnění	Správně vypočtené hodnoty pK_A , správně očíslované (1. $-\text{COOH}$, 2. $-\text{NH}_2$, 3. $-\text{R}$) pI vypočtené ze správných pK_A
Úkol 3	Pokusit se identifikovat aminokyselinu z průběhu titrace a pK_A /pI
Kritérium splnění	Zvolena správná aminokyselina z daných možností.

Pracovní postup a postup zpracování dat

Detailní zpracování návodu je uvedeno v příloze – úloha 5, žákovská část.

Návod je zpracován pro práci s čidly PASCO, lze jej však relativně snadno adaptovat na jakýkoliv systém využívající konstrukčně podobná čidla, například Vernier.

Naměřené hodnoty

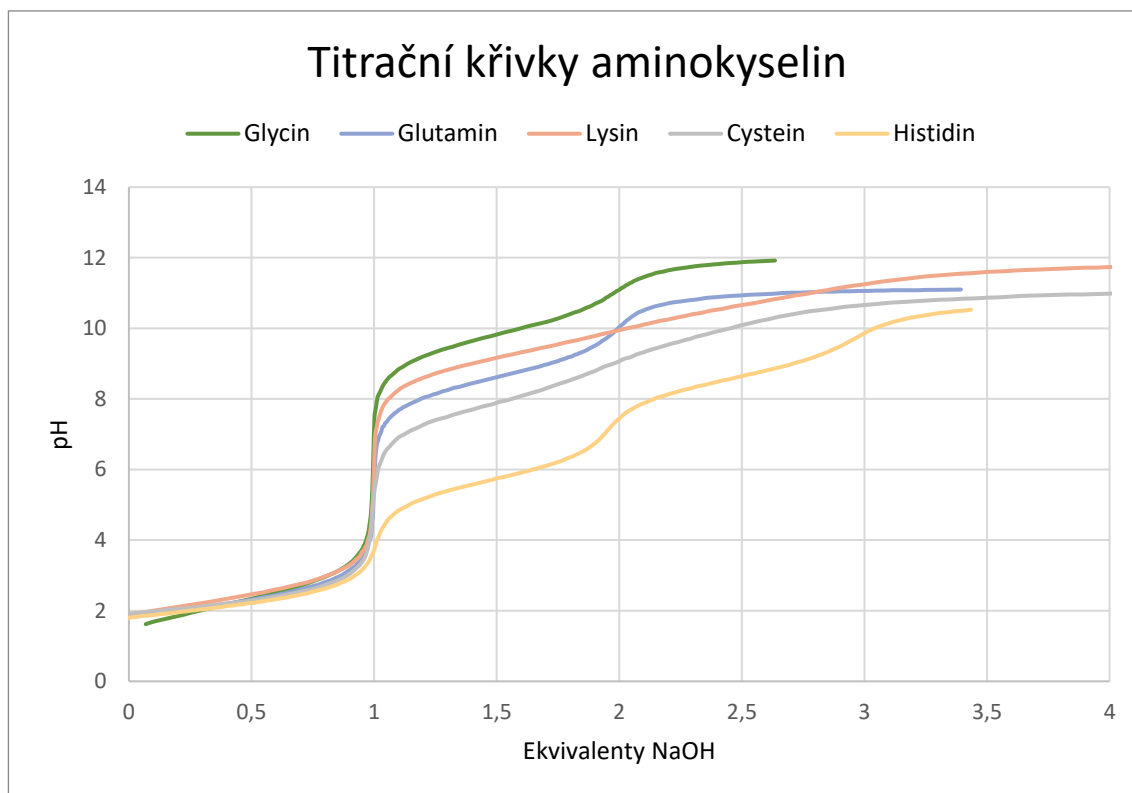
Během přípravy materiálu bylo proměřeno 5 různých aminokyselin, v grafu níže jsou výsledky srovnatelných měření, tedy pipetáže 25 ml vzorku (roztok 0,1 M aminokyseliny v 0,1 M HCl). Ve 150ml vysoké kádince nebylo potřeba doplnit destilovanou vodou, jelikož čidlo bylo zcela ponořeno. Titrace byla prováděna pomocí 0,1 M NaOH, v jemnějším kroku, než je v návodu pro žáky (1 ml/0,5 ml/0,2 ml v okolí bodu ekvivalence). Objem přidaného NaOH byl přepočítán na ekvivalenty NaOH

určením bodů ekvivalence. Shrnutí těchto titrací lze vidět v tabulce a grafu níže. Hodnoty, které nebyly úspěšně určeny, jsou označeny „neurčeno“. Důvody jsou rozebrány níže.

Tabulka 35 - Úloha 5, stanové vs. tabelované pK_A a pI

<i>Aminokyselina</i>	<i>pK_A</i>		<i>pI</i>	
	<i>stanovená</i>	<i>tabelovaná¹</i>	<i>stanovená</i>	<i>tabelovaná</i>
Glycin	2,404	2,34	6,116	5,97
	9,828	9,6		
Lysin	2,465	2,17	neurčeno	5,65
	neurčeno	8,95		
Glutamin	2,31	2,17	5,462	5,65
	8,614	9,13		
Cystein	1,866	1,92	5,145	5,15
	neurčeno	10,7		
	7,896	8,37		
Histidin	1,98	1,8	7,19	7,64
	8,64	9,33		
	5,74	6,04		

¹ (Vanderbilt University 2021)



Graf 9 - Úloha 5, titrační křivky aminokyselin

Hodnocení výsledků

U většiny aminokyselin bylo úspěšně určeno pK_A a pI . Aminokyseliny s blízkými hodnotami pK_A , jako například lysin nebo cystein, nebyly ani velmi jemnou titrací dostatečně rozlišitelné – pravděpodobně dochází k současné titraci/pufraci a ustanovuje se rovnováha mezi třemi formami (například u lysinu mezi nábojem +1, 0 a -1). Tímto se omezuje jejich vhodnost pro tuto úlohu. Podobné chování může nastat u aminokyselin s kyselými skupinami. Naopak jasnou trojstupňovou titrační křivku poskytuje histidin, kde jsou odstupňovány jednotlivé pK_A o více než 3 jednotky, a neovlivňují se tak při titraci. Velmi bazické aminokyseliny jako lysin nebo arginin trpí alkalickou (sodíkovou) chybou při titraci v $pH > 12$ (Vinšová, Zachař, a Záruba 2010).

Všechny naměřené pK_A měly chybu do 0,7 bodu pH , většinou výrazně nižší. Jelikož se pI určuje z těchto hodnot, chybovost je srovnatelná. Pro rozlišení charakterově jiných aminokyselin je takováto přesnost dostačující.

Diskuse

Experimenty a úlohy v této práci byly vypracovány a ověřeny v laboratoři Katedry učitelství didaktiky chemie. Vzhledem k omezené výuce způsobené pandemickým stavem v průběhu školního roku 2020/2021 nebyly tyto úlohy ověřeny na práci přímo se žáky, s výjimkou experimentu stanovení výparné entalpie, který byl vyzkoušen se dvěma studenty v průběhu jejich odborné praxe. Všechny úlohy se ukázaly být po technické stránce realizovatelné, kromě úlohy využívající plynové chromatografie, kdy se nezdařila derivatizace a separace derivatizovaného produktu. Proto nemohla být separace produktu na plynovém chromatografu Vernier GC Mini, který pro nederivatizovaný produkt nedisponuje vhodnou kolonou, prakticky provedena. Novější verze přístroje, jehož kolona by k danému účelu měla být vhodná, bohužel nebyl v době zpracování práce k dispozici.

Ke všem úlohám v této práci je dostupný nejen vypracovaný didaktický podklad pro učitele a návod pro žáky, ale je zde zmíněna i inspirace k zařazení daného pokusu do výuky, případná předchozí selhání a úskalí experimentů a rovněž i alternativní způsoby provedení či náměty na další modifikace experimentu.

Úloha zaměřená na stanovení molární výparné entalpie byla velmi úspěšně vyzkoušena a její návrh i provedení probíhalo bez výraznějších obtíží. Ve výsledku vznikla úloha pokročilá po stránce obsahové, nikoliv však po stránce materiálové – k provedení stačí dvě z běžnějších čidel, několik kusů chemického skla, topná ploténka a destilovaná voda. Úloha je tak snadno využitelná i na seminářích všeobecných či přírodovědně zaměřených gymnázií. Úloha byla vyzkoušena i studenty, kteří ji zvládli zcela bez problémů a prakticky i bez pomoci učitele.

V úloze zaměřené na nefelometrii byly provedeny úpravy analytické metody popsané v odborném článku (Beitz et al. 1977) tak, aby byla praktičtější pro měření na střední škole. Díky tomu bylo doporučeno mj. při čekání na maximální zakalení roztoku. Z měření vyplynulo, že plastové kyvety nejsou dostatečně odolné vůči používanému činidlu, a tudíž byla k měření doporučena pro měření stále cenově přijatelná skleněná kyveta. Metoda byla také otestována s jinými proteinovými a lipidovými roztoky a výsledky potvrzují možnost měřit i jiné roztoky než jen mléko. Úloha se hodí opravdu spíše jen pro chemicky zaměřené SOŠ, neboť nefelometrie a turbidimetrie patří mezi metody probírané na středních odborných školách (MSŠCH 2018), nicméně např. ani na

přírodovědně zaměřeném Gymnáziu Botičská ji již v ŠVP nenajdeme (Gymnázium Botičská 2017) a pravděpodobně není běžnou součástí výuky chemie ani na všeobecných gymnáziích.

Úloha na pozorování skleníkového efektu v nádobě proběhla bez větších problémů. Jedná se po teoretické stránce o relativně nejjednodušší úlohu, avšak umožňuje rozšíření co do probírané teorie a mezipředmětových vztahů. Lze ji tak zařadit do mnoha témat s různými didaktickými cíli. Největším zádrhelem je zajištění stejné intenzity osvětlení v obou měřicích nádobách, která byla zajištěna dvěma stejnými světelnými zdroji, ale lze ji dosáhnout i dalšími způsoby, jak je popsáno výše. V práci uvedená modifikace se snaží v experimentu eliminovat vliv vodních par k celkovému skleníkovému efektu pozorovanému v nádobách, což je největším nedostatkem značné části experimentů prezentovaných na internetu i vzdělávacích portálech, kde je tento poměrně výrazný efekt chybně připisován pouze oxidu uhličitému.

Extrakce limonenu ve formě pomerančové silice z pomerančové kůry a jeho následné dokázání proběhlo úspěšně s výtěžkem dle očekávání, problém však nastal s kompatibilitou měřicího přístroje, kdy kolona a detektor starší verze plynového chromatografu obsahuje pouze nepolární kolonu, a nedokáže tak stanovit nepolární látky, jako je limonen. Byl proveden pokus o derivatizaci limonenu oxidací na částečně polární molekulu, která ale byla neúspěšná. Při použití kolony schopné jej separovat, kterou je vybaven například novější plynový chromatograf Vernier GC Direct Mini (Vernier Software & Technology 2020), by měla úloha proběhnout hladce. Jak je diskutováno v teoretické části práce, organická chemie a biochemie jsou úlohami vybaveny v omezeném množství a například extrakce přírodních materiálů zde příliš nevystupují. K provedení těchto úloh však lze pokročilé ŠMS dobře využít.

Úloha zaměřená na identifikaci aminokyselin vyžadovala mnoho „jemných“ titrací k ověření přesných průběhů titračních křivek, nicméně byly ve výsledku navrženy různé způsoby výběru vzorků aminokyselin tak, aby byly vždy rozeznatelné, například použitím aminokyseliny bazické a kyselé. Je potřeba myslet na omezení této úlohy při jejím provádění. Aminokyseliny stejného charakteru nelze navzájem dobře rozlišit (např. skupina aminokyselin s nepolárním bočním řetězcem), což však platí pro většinu metod využívající jejich chemicko-fyzikálních vlastností. Aminokyseliny se vzájemně blízkými hodnotami pK_A , jako je například lysin, při titraci splývají a nelze určit body

ekvivalence, nejsou tedy příliš vhodné. Nakonec je třeba myslet na omezení měřicího zařízení – na konci titrace měření ovlivňuje již značné zředění roztoku a také alkalická (sodíková) chyba, kdy elektroda v pH nad 12 vzhledem k mizivé koncentraci vodíkového kationtu reaguje na jiné ionty jednomocné, například sodné (Vinšová et al. 2010). S touto chybou se potýkáme při titraci velmi bazických aminokyselin jako je lysin ($pK_{A,3} = 10,54$) či arginin ($pK_{A,3} = 12,48$) (Vanderbilt University 2021).

V rámci této úlohy byl také proveden test aminokyselin dostupný v běžném prodeji, který se ukázal jako úspěšný a velmi slibný pro další využití biomolekul dostupných v síti lékáren a potravinových doplňků. Pro srovnání uvádím níže tabulku cen zakoupených aminokyselin v lékárně (pilulka.cz) a na webových stránkách významného distributora chemikálií (Merck), vždy v nejlevnější variantě. Účelem tohoto srovnání není propagovat konkrétní obchod, ale informovat učitele o alternativních možnostech pořízení některých čistých chemikálií v běžném prodeji.

Tabulka 36 - Srovnání cen použitých chemikálií

	pilulka.cz	Merck
Lysin	GymBeam L-Lysine unflavored 250 g	L5626 – Reagent grade, $\geq 98\%$ (HPLC) 100 g
	86 Kč	708 Kč
Glycin	NutriWorks Glycine 200 g	G8898 – min 99 %, pro elektroforézu 500 g
	349 Kč	2620 Kč
Glutamin	MyProtein L-glutamine bez příchutě 250 g	1.00289 – for biochemistry 25 g
	189 Kč	802 Kč

I přes jistá omezení a obtíže, které byly při ověřování některých úloh pozorovány a jsou popsány v práci, vypracované úlohy při vhodné modifikaci a při využití vhodných vzorků naplňují svůj záměr, dobře demonstrují dané téma, metodu či technický postup a jeví se jako využitelné pro výuku na chemicky zaměřených středních odborných školách či v seminářích přírodovědně zaměřených gymnázií.

Závěr

S ohledem na nedostatek materiálů a úloh vhodných pro práci se školními měřicími systémy na chemicky zaměřených středních odborných školách v ČR a rovněž nedostatek materiálů s využitím méně běžných čidel a instrumentů školních měřicích systémů byla vytvořena sada 5 úloh zaměřených na výuku některých méně běžných témat či metod a čidel školních měřicích systémů. Všechny úlohy koincidují s tématy uvedenými ve školních vzdělávacích programech těch SOŠ, které zveřejnily své ŠVP na svých webových stránkách, některé úlohy lze využít k nahrazení úloh stávajících již na školách realizovaných bez využití ŠMS. Všechny úlohy byly modifikovány tak, aby byly na uvedených školách realizovatelné při přijatelných nákladech a spotřebě vzorků a chemikálií, nicméně při naplnění vzdělávacího cíle (pochopení a technického zvládnutí metody, teorie, metodologického postupu apod.), např. s využitím aminokyselin jako potravinových doplňků místo drahých chemikálií či využitím mléka jako standardu. Dále byly všechny úlohy vyzkoušeny s ohledem na technickou a metodologickou proveditelnost a byla stanovena, popř. optimalizována, jejich časová náročnost, která se pohybuje v rozmezí 2–4 vyučovacích hodin. Úlohy po provedených modifikacích fungovaly dobře a reprodukovatelně, dostatečně s ohledem na vzdělávací záměr a cíl úlohy. Vzniklé návody, pracovní listy a metodiky k nim byly doplněny o technické poznámky k provedení pokusu. Ověřena žáky chemicky zaměřené SOŠ byla jedna úloha (stanovení výparné entalpie), přičemž ověření potvrdilo, že žáci zvládli realizaci úlohy bez problémů a pochopili principy úlohy a naplnili její vzdělávací cíle, pozitivně hodnotili i motivaci k realizaci úlohy. S ohledem na řečené se lze domnívat, že uvedené úlohy mohou být vhodným materiálem k realizaci některých experimentálně orientovaných cvičení s využitím ŠMS na chemicky zaměřených SOŠ. Tato práce vznikla na prvním místě jako materiál pro kolegy učitele ze středních odborných škol se zaměřením na chemii a také učitele chemických seminářů gymnázií, pro které může být inspirací k rozšíření výuky chemie o některé další oblasti. Vypracované materiály pro učitele a pro žáky najdete na příložené na konci této práce a jsou volně k dispozici k šíření, další úpravě, vylepšení či doplnění, s odkazem na původní materiál.

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Souprava PASCO Advanced Chemistry Sensor	19
Obrázek 2 - Názory studentů na práci se ŠMS po absolvování experimentu	20
Obrázek 3 - Úloha 1, aparatura	33
Obrázek 4 - Úloha 2, srovnání odolnosti kyvet	38
Obrázek 5 - Úloha 3, aparatura pro vývoj CO ₂	46
Obrázek 6 - Úloha 3, první uspořádání experimentu	47
Obrázek 7 - Úloha 3, finální uspořádání experimentu	47
Obrázek 8 - Úloha 5, aminokyseliny zakoupené na pilulka.cz	58

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Četnost úloh dle oblastí RVP	22
Tabulka 2 - Seznam SOŠ s oborem Aplikovaná chemie – šk. rok 2020/2021	25
Tabulka 3 - Úloha 1, cíle a výstupy	29
Tabulka 4 - Úloha 1, mezioborové vztahy	30
Tabulka 5 - Úloha 1, časový plán	31
Tabulka 6 - Úloha 1, otázky k zamyšlení	32
Tabulka 7 - Úloha 1, úkoly	33
Tabulka 8 - Úloha 1, vypočtené molární výparné kapacity	34
Tabulka 9 - Úloha 2, cíle a výstupy	36
Tabulka 10 - Úloha 2, mezioborové vztahy	36
Tabulka 11 - Úloha 2, složení proteinového činidla	36
Tabulka 12 - Úloha 2, bezpečnost práce	37
Tabulka 13 - Úloha 2, časový plán	37
Tabulka 14 - Úloha 2, otázky k zamyšlení	39
Tabulka 15 - Úloha 2, použité vzorky	41
Tabulka 16 - Úloha 2, naměřené hodnoty	42
Tabulka 17 - Úloha 3, cíle a výstupy	44
Tabulka 18 - Úloha 3, mezioborové vztahy	44
Tabulka 19 - Úloha 3, časový plán	46
Tabulka 20 - Úloha 3, otázky k zamyšlení	48
Tabulka 21 - Úloha 3, úkoly	49
Tabulka 22 - Úloha 4, cíle a výstupy	51

Tabulka 23 - Úloha 4, mezioborové vztahy.....	51
Tabulka 24 – Úloha 4, bezpečnost práce	53
Tabulka 25 - Úloha 4, časový plán	53
Tabulka 26 - Úloha 4, otázky k zamyšlení	54
Tabulka 27 - Úloha 4, úkoly	55
Tabulka 28 - Úloha 5, cíle a výstupy	57
Tabulka 29 - Úloha 5, mezioborové vztahy.....	57
Tabulka 30 - Úloha 5, aminokyseliny zakoupené v e-shopu.....	58
Tabulka 31 - Úloha 5, bezpečnost práce	59
Tabulka 32 - Úloha 5, časový plán	59
Tabulka 33 - Úloha 5, otázky k zamyšlení	60
Tabulka 34 - Úloha 5, úkoly	61
Tabulka 35 - Úloha 5, stanové vs. tabelované pK_A a pI	62
Tabulka 36 - Srovnání cen použitých chemikálií	66

Seznam grafů

Graf 1 - Srovnání koncepcí ŠMS	15
Graf 2 - Rozdělení úloh dle RVP pro gymnázia	21
Graf 3 - Úloha 1, jednotlivá měření křivek sytých par vody	34
Graf 4 - Úloha 2, vývoj zákalu během 90 minut	40
Graf 5 - Úloha 2, vývoj zákalu během prvních 10 minut	41
Graf 6 - Úloha 2, kalibrační křivky.....	42
Graf 7 - Úloha 3, naměřený skleníkový efekt.....	50
Graf 8 - Úloha 4, neúspěšná hydroxylace limonenu.....	56
Graf 9 - Úloha 5, titrační křivky aminokyselin.....	63

Zdroje

- Agricultural Research Service, U.S. Department of Agriculture. 2019. „FoodData Central - Eggs, Grade A, Large, egg yolk". Získáno 8. srpen 2021 (<https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/748236/nutrients>).
- Beitz, D. C., M. E. Phillips, a S. H. Eklund. 1977. „A Nephelometric Procedure for Determination of Fat and Protein in Milk". *Journal of Dairy Science* 60(5):701–5. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(77)83922-2.
- Beneš, Pavel. 1987. „Struktura školního experimentu". *Pedagogika* (2):153–61.
- Bílek, Martin, Jiří Rychtera, Karel Myška, a Petra Toboříková. 2010. „Počítačem podporovaný reálný vers. simulovaný experiment v počáteční výuce chemie". in *Sborník abstraktů 20. Mezinárodního semináře o výuce chemie*. Univerzita Hradec Králové, Přírodovědecká fakulta.
- Brenner, David. 2009. „Příprava materiálů pro projekt podpůrného webu www.studiumchemie.cz". Bakalářská práce, Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Praha.
- Brenner, David. 2012. „Výběr a tvorba nových materiálů pro podpůrný výukový web www.studiumchemie.cz". Diplomová práce, Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Praha.
- California State University, Long Beach. 2021. „Glove Safety Overview". Získáno 8. srpen 2021 (<https://web.csulb.edu/colleges/cnsm/safety/documents/gloves.htm>).
- Copeland, B. Jack. 2020. „The Modern History of Computing". in *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, editoval E. N. Zalta. Metaphysics Research Lab, Stanford University.
- Čtrnáctová, Hana. 2000. *Chemické pokusy pro školu a zájmovou činnost*. Praha: Prospektrum.
- Čtrnáctová, Hana, a Jiří Banýr. 1997. „Historie a současnost výuky chemie u nás". *Chemické listy* 91(1):59–66.
- Čtrnáctová, Hana, a Jiří Zajíček. 2010. „Současné školství a výuka chemie v České republice". *Chemické listy* 104(8):811–18.
- Dvořák, Jiří, Pavel Kuriščák, a František Lustig. 2013. „Vzdáleně řízená laboratoř - Fotovoltaický článek". Získáno 13. srpen 2021 (<http://kdt-4.karlov.mff.cuni.cz/>).
- Dvořáková, Kateřina. 2017. „Počítačem podporované experimenty ve výuce na druhém stupni základní školy". Diplomová práce, Univerzita Palackého v Olomouci, Pedagogická Fakulta, Olomouc.
- EDUCHEM. 2018. „Školní vzdělávací program Aplikovaná chemie".
- eniscuolachannel. 2014. „The greenhouse effect". Získáno 11. srpen 2021 (<https://www.youtube.com/watch?v=f2qAd1sEsBA>).

- Erik Christensen. 2011. „The Greenhouse Gas Demo". Získáno 13. srpen 2021 (<https://www.youtube.com/watch?v=kwtt51gvaJQ>).
- Evropský parlament a Rada Evropské unie. 2004. „(ES) č. 273/2004 o prekursorech drog".
- Gymnázium Botičská. 2017. „Školní vzdělávací program Společně s přírodou".
- International Labour Organization. 2005. „ICSC 0918 - D-LIMONENE physical properties". Získáno 13. srpen 2021 (https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_version=2&p_card_id=0918).
- Jenčuš, Henrich. 2019. „Databáze úloh pro práci se školními měřicími systémy na SŠ". Bakalářská práce, Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Praha.
- Joe Collins. 2009. „Greenhouse effect (in a bottle) explained". Získáno 13. srpen 2021 (<https://www.youtube.com/watch?v=Ge0jhYDcazY>).
- Klouda, Pavel. 2002. *Fyzikální chemie: studijní text pro SPŠCH*. Ostrava: Nakladatelství Pavel Klouda.
- Lustig, František, Z. Lustigová, a P. Vlášek. 1992. *ISES - příručka k soupravě Školní experimentální systém*. Praha.
- Mareček, Aleš, a Jaroslav Honza. 1998. *Chemie pro čtyřletá gymnázia*. 3. opravené. Olomouc: Nakladatelství Olomouc.
- MŠCH. 2018. „Školní vzdělávací program Aplikovaná chemie".
- MŠMT. 2007a. „Rámcový vzdělávací program pro gymnázia: RVP G".
- MŠMT. 2007b. „Rámcový vzdělávací program pro obor vzdělání 28-44-M/01 Aplikovaná chemie".
- MŠMT. 2021. „Rámcový vzdělávací program pro základní vzdělávání: RVP ZV".
- Národní pedagogický institut ČR. 2021. „Obor vzdělání Aplikovaná chemie 28-44-M/01". Získáno 20. červen 2021 (<https://www.infoabsolvent.cz/Obory/KartaOboru/2844M01>).
- Otevřená věda. 2020. „KLIMATICKÁ ZMĚNA – NEZkreslená věda VI". Získáno 11. srpen 2021 (<https://www.youtube.com/watch?v=52dFIY1WU7s>).
- Parlament ČR. 2013. „272/2013 Sb. - Zákon o prekursorech drog".
- Royal Society of Chemistry. 2021. „Aspirin screen experiment". Získáno 13. srpen 2021 (<https://virtual.edu.rsc.org/aspirin/experiment/1>).
- Skoršepa, Marek, a Petr Šmejkal. 2016. „Comprehending Computer Based Laboratory Activities by Slovak and Czech Students". in *Proceedings of the 7th International Conference on Research in Didactics and Science DidSci 2016*. Kraków: Pedagogical University of Cracow.

- SPŠ Otrokovice. 2016. „Školní vzdělávací program Aplikovaná chemie“.
- SPŠCH Brno. 2020. „Školní vzdělávací program Aplikovaná chemie“.
- SPŠCH Ostrava. 2018. „Školní vzdělávací program pro obor Aplikovaná chemie“.
- SŠLCH Olomouc. 2017. „Školní vzdělávací program Aplikovaná chemie“.
- Šindelář, Jan. 2019. „Řešení netradičních úloh v hodinách přírodovědy 3“. *Metodický portál RVP.CZ*. Získáno 1. srpen 2021 (<https://clanky.rvp.cz/clanek/c/Z/21849/RESENI-NETRADICNICH-ULOHO-V-HODINACH-PRIRODOVEDY-3.html/>).
- Šmejkal, Petr. 2019. „Vybrané aspekty zavádění školních měřicích systémů do výuky přírodovědných předmětů se zaměřením na chemii“.
- Šmejkal, Petr, a Jan Kotek. 2013. „Kdo přitápí v atmosféře?“ *Přírodovědci.cz*. Získáno 14. srpen 2021 (<https://www.prirodovedci.cz/magazin/kdo-pritapi-v-atmosfere>).
- Šmejkal, Petr, Marek Skoršepa, a Eva Stratilová Urválková. 2016. „Self-Reported Czech and Slovak Students' Feedback on Performing Activities in Computer Based Science Lab“. in *Proceedings of the 7th International Conference on Research in Didactics and Science DidSci 2016*. Kraków: Pedagogical University of Cracow.
- Šmejkal, Petr, Marek Skoršepa, a Eva Stratilová Urválková. 2018. „Evaluation and Comparison of Newly Designed IBSE Oriented MBL Activities and of Work with MBL Systems by Slovak and Czech Teachers (a Comparative Study)“. in *Science teaching in the XXI century*. Roč. 2018. Kraków: Pedagogical University of Cracow.
- Švandová, Veronika. 2013. „Využití internetu ve výuce chemie“. Disertační práce, Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta, Olomouc.
- Tech Insider. 2016. „Why oranges spark when you hold a flame to them“. Získáno 11. srpen 2021 (<https://www.youtube.com/watch?v=KiwJENI5KgI>).
- Tinker, Robert. 2000. „A History of Probeware“.
- Vanderbilt University. 2021. „Amino Acids pI“. Získáno 7. srpen 2021 (<https://www.vanderbilt.edu/AnS/Chemistry/Rizzo/stuff/AA/AminoAcids.html>).
- Vernier Software & Technology. 2012. „Vernier Gas Chromatograph Mini GC“.
- Vernier Software & Technology. 2020. „Go Direct Vernier Mini GC“.
- Vinšová, H., P. Zachař, a K. Záruba. 2010. „Potenciometrické měření pH“.
- Vohlídal, Jiří, Karel Štulík, a Alois Julák. 1999. *Chemické a analytické tabulky*. 1. Praha: Grada.

PŘÍLOHY

Úloha 1: Stanovení tlaku nasycených par a výparná entalpie

Didaktická část

Zařazení do výuky

Obecná chemie – závislost tlaku par nad kapalinou (soustavy látek – kapaliny)

Fyzikální chemie – termodynamika

Cíle úlohy

- Porozumění vztahu mezi tlakem sytých par a teplotou
- Upevnění pojmu var a teplota varu versus vypařování
- Pochopení závislosti teploty varu na tlaku (papiňák, vysoká nadmořská výška)
- Zvládnutí základních operací s naměřenými daty, prezentace v grafu
- Vyvození závěru o vlastnostech látky ze známých konstant

Výstupy

- Žák zakreslí trend závislosti tlaku par nad kapalinou – roste exponenciálně
- Žák na tomto trendu rozliší fázi kapaliny a fázi plynu, a označí tuto křivku jako křivku nasycených par
- Žák správně používá pojmy var a vypařování a vysvětlí rozdíl mezi nimi
- Žák určí skupenství látky při daném tlaku a teplotě z fázového diagramu
- Žák vyjádří a vypočte konstantu z naměřených dat a zadané rovnice
- Žák chápe význam veličin výparné entalpie a tepelné kapacity a vyřeší jednoduchou úlohu na jejich použití

Mezioborové vztahy

Matematika – operace s logaritmy a mocninami, integrace

ICT – práce s excelem, prezentace dat

Fyzika – Teplo, tepelná kapacita

Použitá čidla

Tlakové čidlo Vernier – GPS-BTA

Teplotní čidlo Vernier – TMP-BTA

Další pomůcky

- kádinka sloužící jako vodní lázeň (použita 400 ml)
- baňka pro vlastní měření která se vejde do zvolené kádinky (použita Erlenmeyerova baňka 100 ml)
- zátka s otvorem pro tlakové čidlo, která pasuje do baňky
- míchačka s ohřevem/kahan
- počítač pro záznam dat vybavený SW Microsoft Excel a Graphical Analysis (Vernier)

Časový plán

Vlastní měření zabere zhruba 30 minut včetně přípravy. Zpracování dat zabere odhadem dalších 30 minut.

Technické poznámky

Základní tlaková čidla Vernier a PASCO mají deklarovaný vrchní limit 2 atmosféry (200-210 kPa). Garantovaný limit bez poškození výrobcem je 4 atmosféry, při použití vody by tedy nikdy nemělo dojít k poškození přetlakem. Nepoužívejte tzv. barometrická čidla, která mají úzký pracovní rozsah cca 0,8-1,2 atmosféry!

Žáci pracují s natlakovanou skleněnou nádobou. Ta je ponořena do vodní lázně uvnitř kádinky, a tak by nemělo hrozit žádné nebezpečí. Nejpravděpodobnější slabé místo je gumová zátka, která může být tlakem vystřelena. Je však hadičkou připojena k tlakovému čidlu a neměla by tak být nijak nebezpečná. Spíše se jedná o riziko ztráty dat. Měření však netrvá dlouho, a lze ho tedy ihned spustit znovu po vyměnění za studenou vodu a lázeň. V návodu je zmíněno, aby byla zátka zastrčena do baňky navlhčená, čímž se zlepší její těsnění. K vystřelení došlo při 7 provedených měřeních jednou, a zátka pouze jemně nadskočila a uvolnila tlak v nádobě.

Úloha 1: Stanovení tlaku nasycených par a výparná entalpie

Žákovská část

Otázky k zamyšlení

- Proč z kapalin (například teplý čaj) stoupá pára, přestože samotná kapalina nevře?
- Proč používáme v kuchyni „papiňák“ k vaření masa?
- Co stojí více energie, ohřát 1 mol vody z 20 na 100 °C, nebo vypařit 1 mol vody při 100 °C?

Teoretická část

Nad každou kapalinou za každé teploty existuje určité množství její páry, které je závislé na teplotě a tlaku. Za stabilní teploty a tlaku dosáhneme rovnováhy, kdy se vypařuje a kondenzuje stejné množství kapaliny. Tento tlak nazýváme **tlakem sytých (nasycených) par** při dané teplotě. Pokud budeme zahřívat vodu, můžeme měřit rostoucí tlak její páry, dokud nedojde k **varu**, což je moment, kdy se tlak sytých par vyrovná okolnímu tlaku. Teplota, při které dojde k varu je nazývána **teplotou varu**.

- Vypařování (a kondenzace) probíhá nad každou kapalinou za libovolných podmínek teploty a tlaku.
- Var probíhá až po dosažení teploty varu při daném tlaku, pro vodu za atmosférického tlaku 101,325 kPa je teplota varu 100 °C.

Odvození závislosti tlaku nasycených par na teplotě

Vztah mezi tlakem nasycených par a teplotou lze popsat více rovnicemi, podle úrovně zjednodušení (chyby), které se dopouštíme. Zcela přesnou rovnicí je rovnice Clapeyronova.

$$\frac{dp}{dT} = \frac{\Delta_{f.p.} H_m}{\Delta_{f.p.} V_m \cdot T}$$

Kde $\Delta_{f.p.} H_m$ je molární entalpie fázového přechodu a $\Delta_{f.p.} V_m$ je změnou objemu při fázovém přechodu. Nicméně ani jedna z těchto veličin není konstantou nezávislou na tlaku a teplotě.

Pro přechod z kondenzované (pevné či kapalné) do plynné fáze lze předpokládat, že $\Delta_{f.p.} V_m = (V_{m,g} - V_{m,l}) \approx V_{m,g}$ (plynná fáze je řádově objemnější než kondenzované fáze). Pokud budeme dále předpokládat chování ideálního plynu, můžeme za molární objem dosadit ze stavové rovnice ideálního plynu a dostaneme se tak k novému vztahu, nazvanému **Clausiova-Clapeyronova** rovnice:

$$\frac{dp}{dT} = \frac{\Delta_{výp} H_m \cdot p}{RT^2}$$

Posledním potřebným předpokladem je zjednodušení, že molární výparná entalpie je v daném rozsahu teplot $\Delta_{výp} H_m$ je konstantou. Integrací této rovnice získáme tvar:

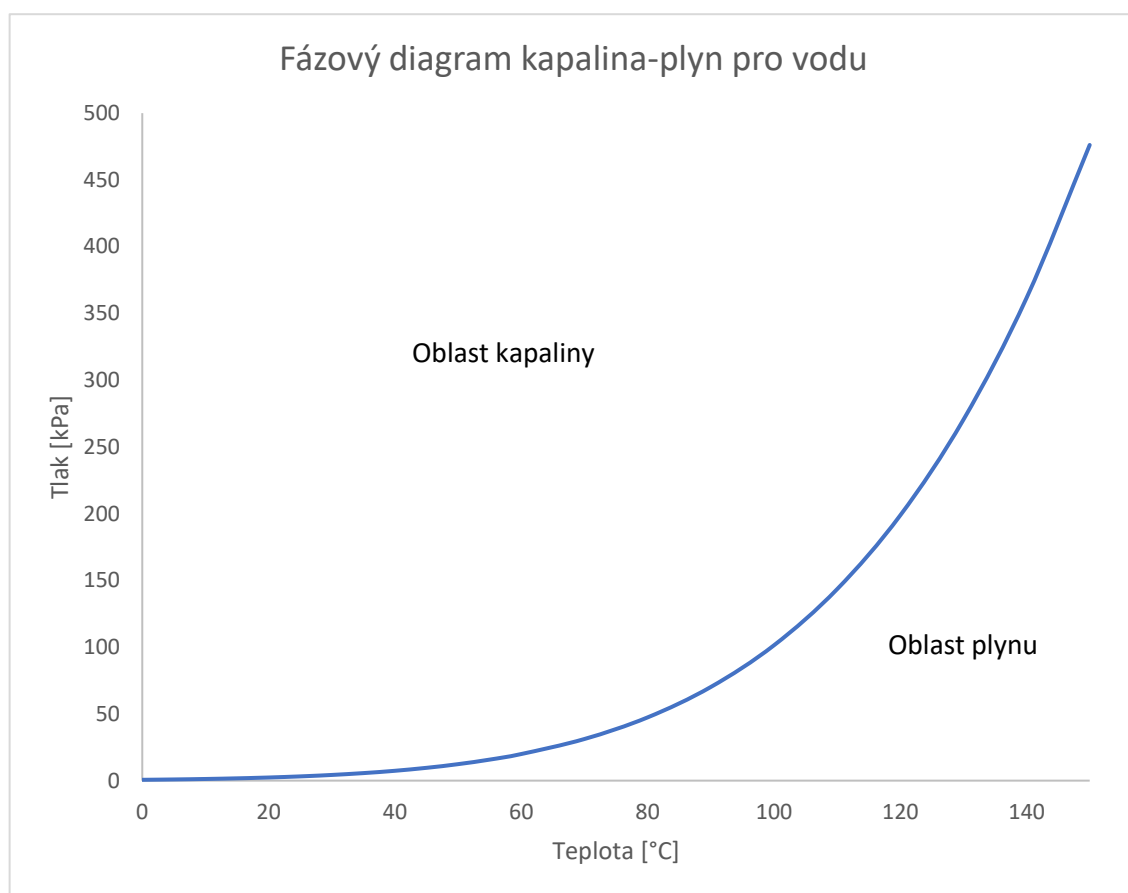
$$\ln \frac{p_2}{p_1} = \frac{-\Delta_{výp} H_m}{R} \cdot \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

Dalšími zjednodušeními lze získat také tzv. Antoinovu a Augustovu rovnici.

Křivka sytých par

Křivka, kterou Clausiova-Clapeyronova rovnice popisuje, je **křivkou sytých par**. Pokud si vyneseme závislost tlaku sytých par na teplotě a zaneseme do ní křivku sytých par, rozdělíme tento diagram na dvě oblasti (fáze). Nad křivkou sytých par máme oblast

kapaliny, pod ní oblast plynu. Každý bod na křivce sytých par odpovídá různému páru tlaku a teploty varu.



Pokud budeme vařit vodu za konstantního atmosférického tlaku, po diagramu se pohybujeme pouze vodorovně, a k varu (překročení křivky) dojde při 100 °C. Pokud budeme vařit vodu v nadmořské výšce 3 km, kde je tlak roven přibližně 70 kPa, křivku překročíme již při 90 °C, což je odpovídající teplotou varu. Papiňák funguje na opačném principu – je v něm zvýšený tlak, voda tedy vře při vyšší teplotě, což urychluje proces denaturace bílkovin, a tedy vaření masa


Úkoly

- Proměřit křivku nasycených par a vynést graf závislosti tlaku nasycených par na teplotě
- Vyjádřit a vypočítat molární výparnou entalpii z Clausiovy-Clapeyronovy rovnice
- Vyřešit 3. otázku k zamyšlení – stojí více energie ohřev vody, nebo její vypaření?

Pracovní postup

Připravte si topnou ploténku/míchačku s ohřevem/kahan a trojnožku. Připravte si z kádinky vodní lázeň – vložte do ní baňku, a naplňte kádinku studenou vodou tak, aby v ní byla menší nádoba z větší části ponořená, viz aparatura níže. Pokud máte k dispozici led či vychlazenou vodu, použijte menší množství k snížení teploty lázně. Vnitřní nádobu naplňte destilovanou vodou ne více než do poloviny, následně ji uzavřete zátkou s otvory pro obě čidla a vložte čidla do nádoby. Zátka je vhodné namočit, aby lépe těsnila a nedošlo tak snadno k jejímu vystřelení během pokusu. Pokud nelze utěsnit otvor kolem teplotního čidla, lze měřit teplotu přímo ve vodní lázni. Nechte několik minut ustálit teplotu, zejména pokud vodní lázeň chladíte ledem.

Spust'íte software Graphical Analysis a připojíte obě čidla. Pokud je vše správně zapojeno a připraveno k měření, měly by se zobrazit 2 grafy. V prvním grafu změňte veličiny na osách tak, abyste sledovali závislost tlaku na teplotě. Ve druhém grafu sledujte změnu teploty i tlaku na čase.

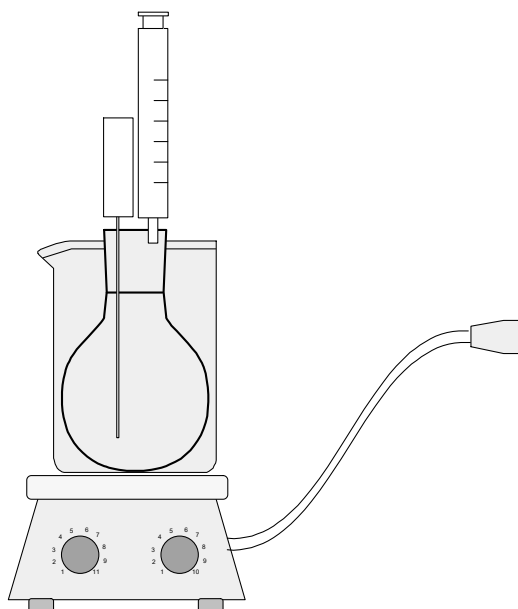
V pravém horním rohu můžete pomocí ikony  zobrazit aktuální hodnotu a tabulku s naměřenými daty. V levém dolním rohu klidněte na pole začínající textem *Režim:*.

Zobrazí se následující nastavení čidel. Nastavte četnost vzorkování 1 za 30 sekund (30 s/vzorek). Spuštění i ukončení měření nastavte ruční! (přednastavené ukončení je po 180 sekundách).

Jakmile máte pocit, že se teplota stabilizovala, začněte měření a spust'íte ohřev. Měřte tlak i teplotu, dokud nedosáhnete teploty varu, nebo dokud se teplota nepřestane zvyšovat.

Po ukončení měření klikněte na nabídku vlevo nahoře a zvolte *export*. Vyberte typ dat .csv a režim desetinné čárky.

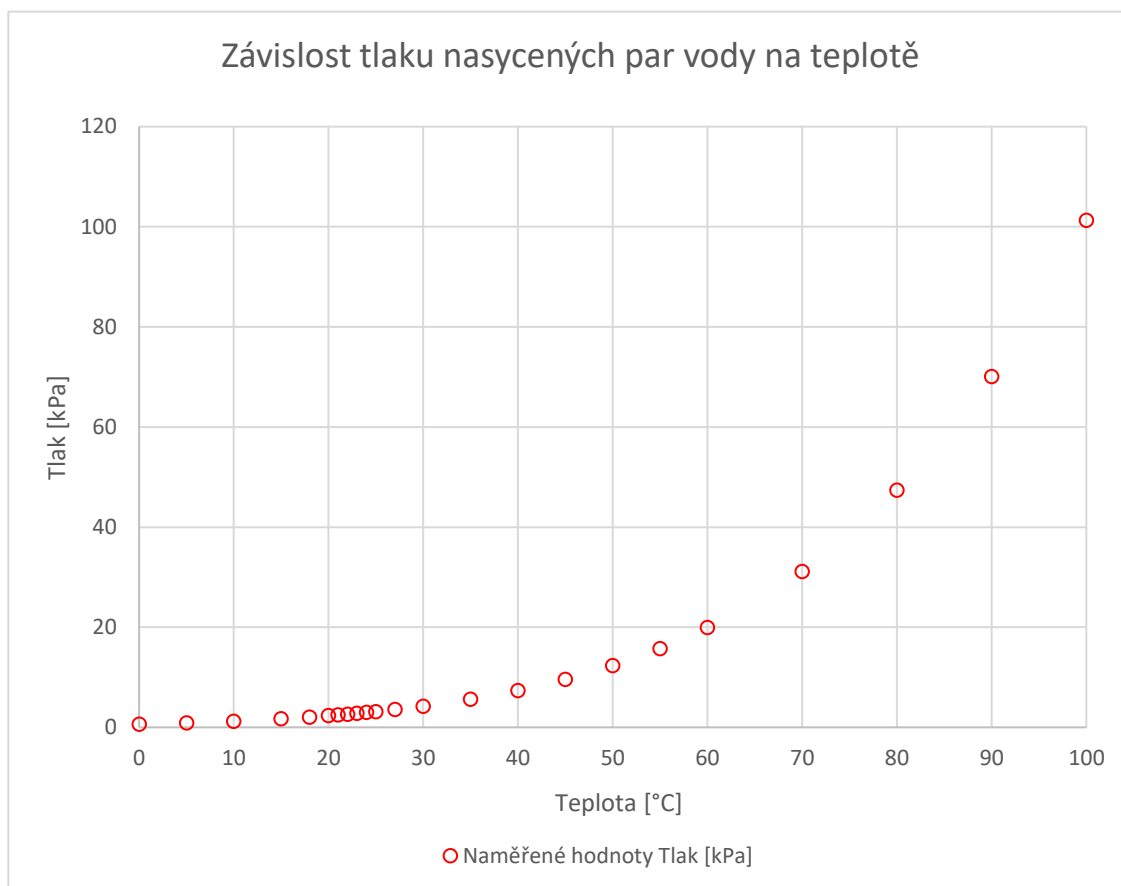
Otevřete si nový soubor v tabulkovém procesoru. Na horní liště zvolte kartu *Data*. Zcela vlevo zvolte možnost *Načíst data*, poté *Ze souboru* a *Z textu/CSV*. Zvolte .csv



soubor, který jste vytvořili v programu Graphical Analysis. V náhledu byste měli vidět tři sloupce dat – čas, teplotu a tlak. Klikněte na tlačítko *načíst*. Vytvoří se nový list. Zkopírujte si data teploty a tlaku na nový list.

Postup zpracování dat:

- Vypočtete teplotu v Kelvinech (základní jednotky).
- Vypočtete tlak vody v kPa, pokud platí Daltonův zákon parciálních tlaků (součet všech tlaků v soustavě se rovná parciálním tlakům jednotlivých plynů)
- Převed'te vypočtený tlak na Pascaly (základní jednotky)
- Vypočtete molární výparnou entalpii. Protože jsme při odvození Clausiovy-Clapeyronovy rovnice předpokládali, že je tato entalpie konstantou, dosadíme do ní nejnižší a nejvyšší naměřené hodnoty a získáme výsledek jako jediné číslo.
- Označte hodnoty tlaku vodní páry v kPa a teploty v °C. Na kartě Vložení v sekci Grafy najděte možnost „bodový“.
- Tento graf je jedním z vašich výstupů, proto jej nyní musíte formálně upravit tak, aby byl co nejlépe čitelný a názorný. Dejte mu vhodný název a pojmenujte jednotlivé osy (viz vzor níže).
- Nyní zbývá porovnat vyřešit 3. otázku k zamyšlení. Molární výparné teplo jsme získali měřením. Potřebujeme ještě molární tepelnou kapacitu – kolik tepla je potřeba k ohřevu jednoho molu vody o 1 °C (neboli o 1 K).
- V excelovském sešitu máte zadanou měrnou tepelnou kapacitu. Vypočtete z ní molární tepelnou kapacitu, a potom určete množství tepla potřebného k ohřátí 1 molu vody z 20 na 100 °C.
- Hotový graf a naměřená data dle pokynů vyučujícího odevzdejte. Inspiraci výsledného vzhledu naleznete níže.



Vypočtené hodnoty

$$\Delta_{\text{výp}} H_m = \quad \text{J/mol}$$

$$Q_{\text{vyp}} = \quad \text{J}$$

$$Q_{\text{ohřev}} = \quad \text{J}$$

Více energie je potřeba k (zakroužkujte správnou odpověď):

Vypaření / Ohřevu o 80 °C

Úloha 2: Nefelometrické stanovení bílkovin a lipidů v mléce

Didaktická část

Zařazení do výuky

Biochemie – bílkoviny, lipidy

Analytická chemie – optické metody

Cíle úlohy

- Seznámení s nefelometrickou metodou
- Žák se seznámí s problematikou stanovení přírodních látek/potravin

Výstupy

- Žák vysvětlí pojem koloidní soustavy
- Žák stručně popíše princip nefelometrie a turbidimetrie (měříme rozptyl/záchyt světla)
- Žák vyjmenuje příklady několika biomolekul, které lze v mléce očekávat (např. protein kasein, cukr laktózu, vitamíny, vápenaté ionty, triacylglyceroly, cholesterol)

Mezioborové vztahy

Obecná chemie – disperzní soustavy

Ekologie/OŽP – hydrosféra, kvalita pitné vody, znečištění vod a eutrofizace

Analytická chemie – analýza potravin

ICT – zpracování dat, regrese

Použitá čidla

Kolorimetr/čidlo turbidity PS-3215

Další pomůcky







- Kalibrační roztok 100 NTU
- Pipeta 5 ml dělená
- Automatická pipeta 10-100 µl
- Skleněná kyveta
- Plastové kapátko

- Filtrační papír archy/chemická podložka pro podložení pracovní plochy
- Rukavice latex/vinyl, nebo ideálně pro práci s kyselinami
- Ochranný štít
- Zkumavky (objem alespoň 10 ml) a pasující zátky
- počítač pro záznam dat vybavený SW Microsoft Excel a Graphical Analysis (Vernier)

Chemikálie

Proteinové činidlo:

acetanhydrid	ledová kyselina octová (99%+)	p-toluensulfonová kyselina
15,75 ml	83,75 ml	0,5 g

ledová kyselina octová (kyselina octová 99+ %)	 
acetanhydrid	  
kyselina p-toluensulfonová	

Zajistěte, aby žáci pracovali s činidlem v rukavicích (latex, vinyl nebo lépe kyselinovzdorné), s ochranným štítem a v digestoři!

Časový plán

Vlastní měření zabere zhruba 45 minut včetně přípravy. Zpracování dat zabere odhadem dalších 15-30 minut.

Technické poznámky

Teorii o Tyndallově jevu je vhodné doplnit o ukázkou

- rozptylu laseru (ukazovátka) ve vodě/koloidním roztoku/suspenzi
- videu s tímto jevem
- příkladu například paprsků světla v mlze, což je projevem stejného efektu

Úloha 2: Nefelometrické stanovení bílkovin a lipidů v mléce

Žákovská část

Otázky k zamyšlení

- Proč můžeme v mlze pozorovat kužel světla z reflektorů vozidla, zatímco za pěkného počasí ne?



- Jak byste popsali mlhu? Z čeho je složen dým? Co například pěna nebo suspenze? Co mají tyto směsi společného?

Teoretická část

Disperzní systém (nebo směs) je tvořen dvěma fázemi nebo složkami, přičemž jedna je rozptýlená ve druhé. Pokud se jedná o systém dvou fází jedné složky, pak existují mezi fázemi hranice, a systém nazýváme heterogenním. Pokud se jedná o systém dvou složek v jedné fázi, pak je to systém homogenní. Úroveň disperze můžeme hodnotit podle velikosti částic, které jsou v systému rozptýlené. Rozdělujeme disperzní systémy

- homogenní (částice < 1 nm)
- koloidní (částice > 1 nm a menší než 1 μm)
- heterogenní (částice > 1 μm a menší než 1 mm)

Právě kategorie koloidních soustav nás bude dále zajímat. Podle velikosti částic sem spadají roztoky vysokomolekulárních částic (například proteinů). Takovéto soustavy vykazují některé unikátní vlastnosti, například tzv. **Tyndallův jev**, kdy dochází k rozptylu světla při průchodu koloidním prostředím. Tento rozptyl můžeme využít k měření koncentrace rozptýlené látky v koloidu.







Měření rozptylu se provádí nefelometrem, což je přístroj se zdrojem záření a detektorem v pravém úhlu vůči zdroji. Záření vychází ze zdroje, prochází kyvetou se vzorkem, kde je rozptýleno, a dopadá na detektor. Míra rozptylu je úměrná koncentraci koloidu. Tato metoda je vhodná na jemně zakalené roztoky, a používá se k analýze čistoty vody či obsahu makromolekul. Někdy je zaměňována s turbidimetrií, která měří množství světla blokováného roztokem a je vhodná pro silněji zakalené roztoky. Tyto metody jsou si tedy navzájem komplementární (doplňují se).

Úkoly

- Proměřte kalibrační křivku standardu s ohledem na obsah bílkovin a lipidů
- Určete obsah bílkovin a lipidů ve vašem vzorku

Bezpečnost

V této úloze používáte nebezpečné chemikálie:

ledová kyselina octová (kyselina octová 99+ %)	 
acetanhydrid	  
kyselina p-toluensulfonová	

S činidlem ke stanovení proteinů pracujte zásadně v rukavicích a s ochranným štítem v digestoři.

Pracovní postup

Svoji pracovní plochu si podložte čistým filtračním papírem/chemicky odolnou podložkou. Nefelometr připojte k počítači dle pokynů učitele (pomocí USB nebo Bluetooth). Spustěte program SPARKvue. Zvolte možnost „Data senzoru“. Vypněte pomocí přepínače záznam kolorimetrických dat, a naopak zapněte záznam nefelometru. (Pozn. V programu je přístroj označován jako turbidimetr, jedná se však o nefelometr.) S kyvetou pracujte v rukavicích, abyste zamezili tvorbě otisků na skle, a s kyvetou se pohybujte pouze nad podložkou, aby se snížila šance jejího rozbití při upuštění.

Kalibrace

Program vás vyzve ke kalibraci senzoru. Váš učitel vás informuje, zda máte kalibraci provést. Vezměte si skleněnou kyvetu a naplňte ji destilovanou vodou. Vložte kyvetu s destilovanou vodou do přístroje, zavřete ji víčkem, a zaklopte víko přístroje, abyste omezili vliv okolního světla. V aplikaci zaznamenejte první kalibrační bod. Nyní kyvetu vylijte, a naplňte kalibračním roztokem o hodnotě 100 NTU. Změřte druhý bod kalibrační křivky.

Měření kalibračních křivek

Připravte si 7 zkumavek, do kterých automatickou pipetou napipetujte množství standardu/vzorku dle tabulky.

Zkumavka	1	2	3	4	5	6	7
Množství standardu	0 μ l	20 μ l	40 μ l	60 μ l	80 μ l	100 μ l	
Množství vzorku							50 μ l

Nyní v digestoři do každé zkumavky odpipetujte 5 ml činidla ke stanovení proteinů. Pracujte opatrně, v rukavicích a s ochranným štítem. Po napipetování činidla uzavřete zkumavky zátkou a každou zkumavku několikrát promíchejte otočením. Nechte zkumavky stát alespoň 5 minut, mezitím zlikvidujte rukavice a pečlivě si umyjte ruce. Poté si vezměte rukavice nové. Na počítači stiskněte tlačítko vlevo dole, a zvolte manuální záznam dat.

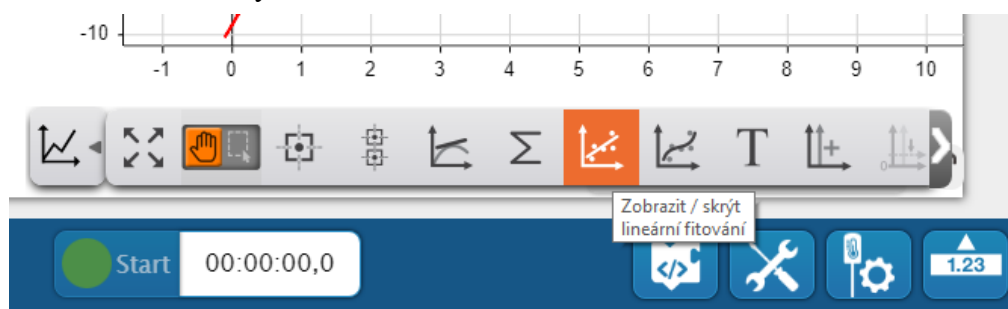
Po 5 minutách přeneste zkumavky na pracovní plochu. Spustěte měření v programu SPARKvue. Pomocí plastového kapátka naplňte kyvetu roztokem z první zkumavky. Změřte a zaznamenejte zákal roztoku a poté roztok vraťte zpět do zkumavky.

Proměřte zkumavky 1-6, poté ukončete měření. Spusťte nové měření a změřte zkumavku 7 a ukončete měření.

Nyní do všech zkumavek napipetujte 2,5 ml vody. Zkumavky opět uzavřete a promíchejte. Nechte stát 5 minut. Voda rozpustí ve vzorcích proteiny a dojde k vysrážení lipidů. Proměřte znova všechny roztoky stejným způsobem, tedy roztoky 1-6 v jednom měření a roztok 7 zvlášť.

Postup zpracování dat:

Zvolte průběh 1 (roztoky 1-6, protein) a proložte nimi lineární regresi – menu pod grafem – Zobrazit/skrýt lineární filtrování



Opište si rovnici regrese a použijte ji k určení obsahu proteinu ve vzorku. Stejně postupujte u lipidů, což jsou průběhy 3 a 4. Od učitele získáte informaci, jakému množství proteinu odpovídá standard (např. 100 μl odpovídá obsahu 3,2 mg bílkovin a 3,5 mg tuku). Měření uložte, a pomocí tlačítka vpravo nahoře pořídte snímek grafu se všemi průběhy.

Vypočtené hodnoty

Zkumavka	1	2	3	4	5	6	7 (vzorek)
Množství standardu	0 μl	20 μl	40 μl	60 μl	80 μl	100 μl	
Proteiny	0						
Lipidy	0						

Závěr

Vzorek obsahuje proteinu a lipidů.

Úloha 3: Skleníkový efekt

Didaktická část

Zařazení do výuky

Anorganická chemie – p-prvky (anorganický uhlík)

Cíle úlohy

- Opakování základů absorpce a emise záření atomy
- Seznámení se skleníkovým efektem a jeho vlivem na teplotu prostředí
- Žák pozoruje skleníkový efekt v reálném čase
- Žák získá nebo zopakuje informace o složení atmosféry
- Žák provede přípravu oxidu uhličitého

Výstupy

- Žák vysvětlí, jak atomy hmoty interagují se zářením (absorpce a emise) použitím znalostí o elektronovém složení atomu
- Žák vysvětlí, jakým mechanismem způsobuje oxid uhličitý a ostatní skleníkové plyny oteplování (ztráta energie mezi absorpcí a emisí v podobě tepla, zadržování paprsků v atmosféře a její ohřev, odraz světla zpět k zemi a její ohřev)
- Žák vyjmenuje alespoň 2 důležité skleníkové plyny
- Žák popíše složení atmosféry (obsah hlavních plynů, obsah CO₂)
- Žák navrhne přípravu oxidu uhličitého v laboratorním a domácím prostředí (soda a ocet)

Mezioborové vztahy

Biologie/ekologie – koloběh uhlíku

ICT – práce s naměřenými hodnotami a grafy

Fyzika – optika, absorpce záření

Obecná chemie – stavba atomu a elektronový obal

Analytická chemie – optické metody, spektroskopie

Biochemie – fotosyntéza

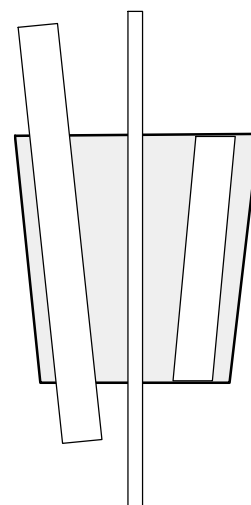
Použitá čidla

2x teplotní čidlo Vernier TMP-BTA

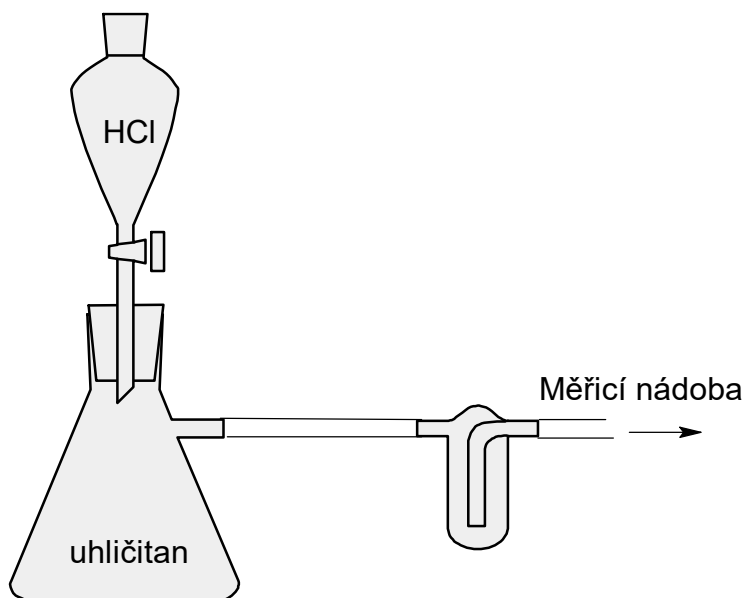
Další pomůcky

- Dvě stejné nádoby, například širokohrdlé Erlenmeyerovy baňky, o objemu 250 ml a více
- Jeden, nebo dva stejné, zdroj záření. Pokud je použit jeden, je náročnější dosáhnout stejného ozáření obou nádob. Za velmi slunečného dne však lze využít slunné místo.
- Zátky do nádob s otvorem pro vložení teplotního čidla. Pro baňku, do které bude pumpován oxid uhličitý, je vhodné vyvrtat gumovou zátku s 3 otvory, jeden otvor pro teplotní čidlo, jeden pro přívod plynu, a další jako výpust'.
- Čidla je vhodné mírně obalit, aby byly otvory do baněk co nejtěsnější. Při provádění byl použit parafilm, lze však využít jakýkoliv jiný obalový materiál
- Baňka destilační, či jiná s bočním otvorem pro odvod plynu, alespoň 100 ml
- Dělicí nálevka, velikosti odpovídající destilační baňce
- Zátka s otvorem, těsně uzavírající spojení dělicí nálevky a destilační baňky.
- Hadička gumová
- Předvážky
- Lžička
- Odměrný válec
- Volitelně lze zařadit promývačku či jinou past, která zabrání případnému vypěnění do měřicí nádoby

Vpravo je příklad konstrukce zátky pro měřicí nádobu, která umožňuje plnění plynem během měření. Uprostřed je umístěno čidlo s těsnícím materiálem. Otvor vpravo slouží k vyrovnání tlaku, a lze jej během měření uzavřít například drobnou zátkou. Vlevo je prostrčena trubička, ke které se připevní hadička z aparatury pro výroby oxidu uhličitého. Pokud chceme naopak nádobu plnit vzduchem, můžeme do trubičky foukat pomocí balonku nebo prázdné stříčky.



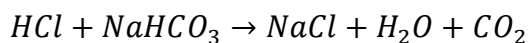
Na nákresu níže je aparatura pro generování plynu.



Chemikálie

- zdroj oxidu uhličitého, jakýkoliv jemný běžný uhličitan anebo hydrogenuhličitan (případně přírodnina – mramor, vápenec). Použit byl hydrogenuhličitan sodný, čistý.
- kyselina chlorovodíková zředěná, větší zředění vede ke klidnějšímu průběhu reakce

Spotřebu vypočítejte podle objemu nádoby, do které bude oxid uhličitý napouštěn, se štedrým přebytkem (je nutné vytlačit vzduch ve všech nádobách). Pro reakci



$$m_{\text{NaHCO}_3} \approx \frac{V}{V_m} \cdot M_{\text{NaHCO}_3}$$

$$V_{\text{HCl},10\%} \approx m_{\text{HCl},10\%} \approx 10 \cdot \frac{m_{\text{NaHCO}_3}}{M_{\text{NaHCO}_3}} \cdot M_{\text{CO}_2}$$

Například litrové nádobě by odpovídala navážka kolem 4 gramů a 21 ml 10% chlorovodíkové kyseliny. Ze zkušenosti bych použil raději přebytek, navážku alespoň 10 gramů a 50 ml kyseliny – nejedná se o drahé chemikálie a zajistíme tak dostatečné množství plynu.

Časový plán

Vlastní měření zabere zhruba 60 až 90 minut včetně přípravy – ohřev, případně chlazení nádob je relativně pomalé, je třeba čekat na ustanovení rovnováhy. Nečeká nás však žádné zásadnější zpracování výstupních dat.

Technické poznámky

Před výrobou plynu proškolení žáky o bezpečnosti – příliš agresivní přídavky kyseliny mohou mít za oběť nejen výsledky pokusu (vychrštění kapaliny do baňky ovlivní složení plynů), ale může dojít také k uvolnění některého spoje pod tlakem plynu a vychrštění kyseliny.

Jelikož se během pokusu vyskytují značné časové prodlevy, je vhodné žákům zadat další činnost v průběhu hodiny, například pracovní list na téma skleníkového efektu.

Použijte suché nádoby, zamezíte tím skleníkovému efektu vodní páry při ohřívání nádob.

Úloha 3: Skleníkový efekt

Žákovská část

Otázky k zamyšlení

- Jaké je složení zemské atmosféry? Kolik obsahuje oxidu uhličitého?
- Skleníkový efekt zahrnuje vícero přispívajících efektů. Jak se slunečním zářením interagují atomy? Zkuste si pomoci schématem atomu dle Bohra.
- Jak byste připravili v laboratorii oxid uhličitý? Navrhněte vhodnou reakci.

Teoretická část

Sluneční záření je zdaleka nejdominantnějším zdrojem energie pro naši planetu. Země je se sluncem v energetické rovnováze – přijímá a vyzařuje energii, která se na Zemi skladuje jako teplo. Skleníkové plyny jsou ty plyny, které absorbují velké množství fotonů ze slunečního spektra.

Z teorie stavby atomu si jistě pamatujete, že elektrony jsou v elektronovém obalu uloženy ve slupkách – říkáme, že energie elektronů je **kvantována**, protože se nemění

plynule, ale v pravidelných skocích. Pokud je elektron zasažen fotonem, použije jeho energii ke skoku do orbitalu s vyšší energií – dochází k absorpci záření. Tento excitovaný elektron následně energii vyzáří – emituje – a vrátí se na nižší energetickou hladinu. Tato emise však probíhá v náhodném směru – záření, které tedy původně bylo odraženo povrchem planety se buď znova odrazí zpět k povrchu, unikne do vesmíru, nebo je rozptýleno v atmosféře jako teplo.

Dalším příspěvkem skleníkového efektu je skutečnost, že v době mezi absorpcí a emisí obvykle dojde ke ztrátě zlomku zachycené energie například srážkami s jinými atomy. Vyzářený foton má následně nižší energii a vyšší vlnovou délku než absorbovaný a rozdíl těchto energií odpovídá uvolněnému teplu. Tomuto jevu se také říká Stokesův posun.

Víceatomové plyny jsou schopny absorbovat záření nejen na elektronovém obalu jednotlivých atomů, ale i na celých vazbách tvořených molekulovými orbitály. Tento záchyt má za důsledek vyvolání vibračně rotačního pohybu molekuly. Tato excitovaná molekula je poté celkově více energetická a zvyšuje se u ní pravděpodobnost srážek s ostatními molekulami, při kterých je energie opět ztracena v podobě tepla.

Úkoly

- Sestavte dvě měřicí nádoby dle pokynů učitele tak, aby na ně dopadalo záření se stejnou intenzitou
- Sestavte aparaturu k přípravě oxidu uhličitého
- V jedné z měřicích nádob ovlivněte teplotu přidáním či odstraněním skleníkových plynů

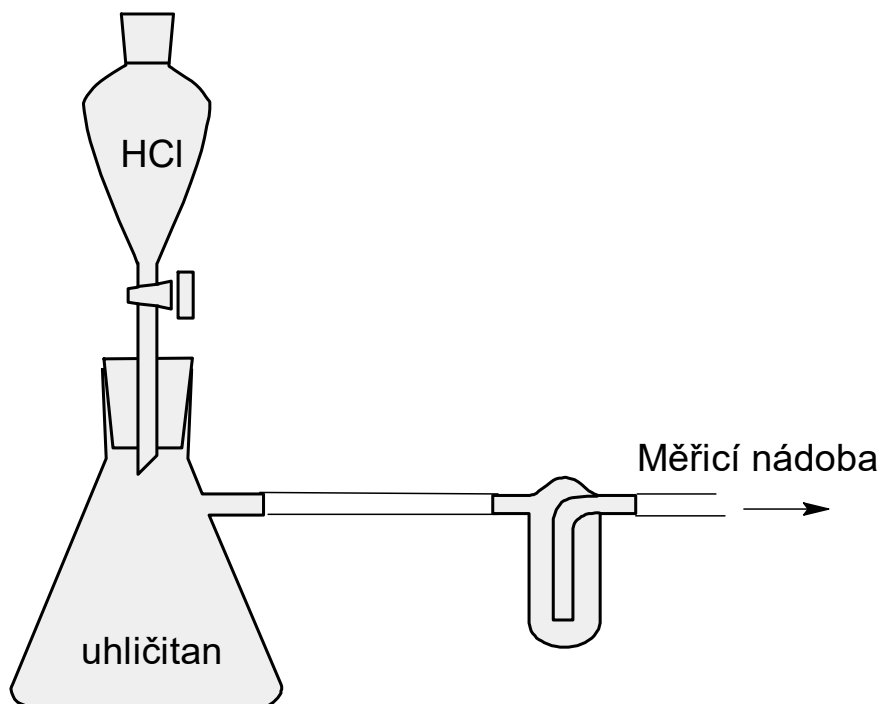
Pracovní postup

Spusťte software Graphical Analysis a připojte obě čidla. Vaším úkolem je připravit dvě nádoby k měření teploty plynu. Váš učitel určí zdroj záření. Může se jednat o sluneční záření, jednu nebo dvě lampy. Měřicí nádoby uzavřete zátkou s otvorem, vložte do nich teplotní čidla. Nastavte měření na manuální zastavení a spusťte měření. Vyčkejte, dokud se v obou nádobách nevyrovná teplota. Pokud je v nádobách teplota odlišná, změňte postavení nádob vůči zdroji záření (porad'te se s učitelem).

Během sledování ohřevu nádob sestavte aparaturu k přípravě oxidu uhličitého. Nákres aparatury je vidět níže. Použijte baňku s bočním otvorem, kterou uzavřete zátkou

s otvorem, kterou prostrčíte dělicí nálevku. Upevněte oba kusy skla klemou ke stojanu. Hadičkou připojte prázdnou promývačku/past (pokud je k dispozici.) Hadičku připojte k měřicí nádobě.

Odvažte 10 gramů hydrogenuhličitanu. sodného a nasypejte jej do baňky. Do dělicí nálevky nalijte 50 ml 10% kyseliny chlorovodíkové.



Pokud stále měříte teplotu v měřicích nádobách, nechte si schválit učitelem aparaturu a teplotu v nádobách, a poté začněte vyvíjet oxid uhličitý. Přikapávejte opatrně po jednotlivých kapkách, jinak hrozí natlakování aparatury či vychrtnutí kyseliny. Pokračujte do spotřebování veškeré kyseliny a sledujte vývoj teploty. Měli byste pozorovat skokové ochlazení přísunem nového plynu, a následný ohřev. Teplota v nádobě obsahující oxid uhličitý by měla dosáhnout hodnoty vyšší, než která je v kontrolní nádobě. Konzultujte výsledky měření s učitelem, a ukončete měření.

Závěr

Uložte si měření / snímek průběhu teplot. Odevzdejte dle pokynů učitele.

Úloha 4: Extrakce limonenu

Didaktická část

Zařazení do výuky

Organická chemie – alkeny

Biochemie – terpeny a steroidy (hormony)

Cíle úlohy

- Seznámení se silicemi a jejich uplatněním
- Provedení extrakce destilací s vodní parou
- Dokázání charakteru extrahované látky – alkenu
- Ukázka plynové chromatografie

Výstupy

- Žák vysvětlí alespoň 1 využití limonenu (aromata, zelená rozpouštědla, histologie)
- Žák je schopen provést destilaci s vodní parou, včetně sestavení aparatury
- Žák vysvětlí, pro jaké soustavy je tato metoda vhodná (látko nerozpustná ve vodě, s vyšší teplotou varu, při destilaci čisté látky hrozí rozklad)
- Žák navrhne důkaz limonenu – alkenu, případně jej i provede
- Žák schematicky popíše plynovou chromatografii

Mezioborové vztahy

ICT – ovládání chromatografu pomocí PC, vyhodnocení chromatogramu

Biologie – fytohormony, histologie

Obecná chemie – separační metody (soustavy látek)

Analytická chemie – instrumentální separační metody, plynová chromatografie

Použitá čidla

Vernier Mini GC plynový chromatograf. PASCO ani ostatní výrobci zatím chromatograf nenabízí, nicméně Vernier sám má k dispozici několik generací s různými typy kolon. Ověřte si kompatibilitu přístroje.

Chemikálie

chlorid sodný – pro narušení emulze při dělení fází





manganistan draselný – důkaz limonenu oxidací na diol – Baeyerovo činidlo

brom v nevodném rozpouštědle, například dichlormethanu

Další pomůcky

- 2-3 větší pomeranče
- struhadlo
- jednoduchá destilační aparatura – destilační baňka 250 ml, (destilační hlava), chladič Liebigův, alonž, baňka 250 ml k zachycení destilátu, zátka s otvorem pro teploměr a teploměr, případně teploměr se zábrusem při použití zábrusového skla
- topné hnízdo nebo plynový kahan
- předvážky/analytické váhy pro zjištění přibližného/přesného výtěžku extrakce
- vialka k uchování limonenu
- dělicí nálevka
- počítač pro záznam dat vybavený SW Instrumental Analysis (Vernier)

Bezpečnost

Limonen	
manganistan draselný	
brom	
dichlormethan	

Časový plán

Příprava a extrakce zabere zhruba 30-60 minut podle zkušeností žáků s destilacemi. Následné důkazy jsou zkumavkové reakce, proveditelné během několika

minut. Konečně měření na plynovém chromatografu zabere nejméně další hodinu. Celkově tedy 3 vyučovací hodiny.

Technické poznámky

Je důležité ověřit schopnost vašeho chromatografu limonen stanovit. Konzultujte manuál dodaný k vašemu přístroji a proměřte si standard. I přístroje jednoho výrobce se liší v typech chromatografických kolon. Je potřeba najít vhodný měřicí profil, který poskytne dobře diferenciované spektrum.

Limonen je relativně nebezpečnou látkou při styku s kůží, nicméně je běžné provést čichový test bez nějakého zdravotního rizika.

Pokus lze uvést velmi atraktivní ukázkou „hořlavosti pomerančů“. – například video „Why oranges spark when you hold a flame to them“ – na portálu youtube.com. Ze slupky se vylisuje pomerančová silice, která se následně zapálí. Někdy se také předvádí vystříknutí silice z kůry do plamene.

Emulze vody a limonenu se v děličce někdy rozděluje velmi pomalu – je možné přidat chlorid sodný k zvýšení rychlosti separace, a to až do nasycení vodné fáze. Pokud zbude v děličce nerozpuštěná sůl, stačí ji odfiltrovat.

Alternativním způsobem provedení vyhodnocení chromatogramu je poskytnutí více standardů, například dalších přírodních extraktů, a žáci mají za úkol porovnat chromatogram s připravenou silicí a identifikovat odpovídající standard.

Úloha 4: Extrakce limonenu

Žákovská část

Otázky k zamyšlení

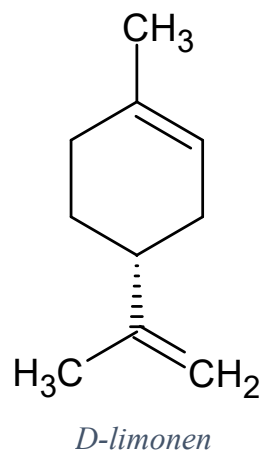
- Zamyslete se, jaká znáte rozpouštědla z vaší laboratorní praxe. Napište alespoň 3 příklady, včetně názvu a vzorce. Jaký je mezi nimi rozdíl?
- Vzpomeňte si na důkazové reakce alkenů. Jak dokazujeme ve sloučeninách dvojnou vazbu?
- Jaký je princip chromatografie? Do jaké kategorie metod spadá?

Teoretická část

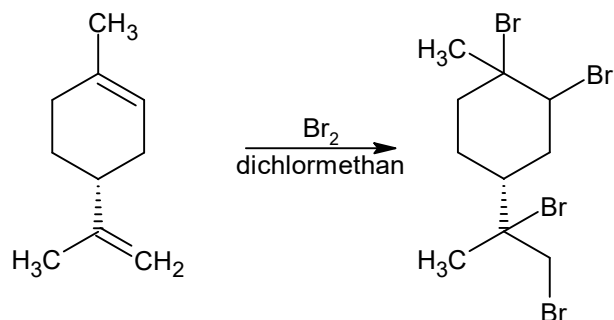
Při zpracování mnoha rostlin či rostlinných produktů získáváme jako produkt **silice** neboli **esenciální oleje**. Tyto směsi jsou obvykle tvořeny širokým spektrem látek, charakteristických pro danou rostlinu či dokonce odrůdu, avšak mají typické charakteristiky – jsou to ve vodě nerozpustné, olejovité těkavé látky. Rostliny je produkují pro svoji ochranu před býložravci (například piperin, alkaloid obsažený v černém pepři) nebo jimi lákají opylovače (mnoho vonných látek, například v této úloze extrahovaný D-limonen).

Pomerančová silice se získává obvykle při výrobě pomerančové šťávy lisováním, kdy se oddělí od vodné fáze, ve které je nerozpustná. Nicméně zde využijeme metodu **destilace s vodní parou**. Tato metoda využívá vysoké těkavosti silic i při teplotách nízko pod bodem varu. D-limonen, hlavní složka pomerančové silice, vře při 176 °C, nicméně díky své těkavosti jej oddestilujeme spolu s vodní parou při 100 °C. Tato metoda chrání silice před tepelným rozkladem, který může nastat při vyšších teplotách. Vysoký obsah silice je v pomerančové kůře, která bude naší surovinou, a získává se z ní ve výtěžku zhruba 1 % použité pomerančové kůry.

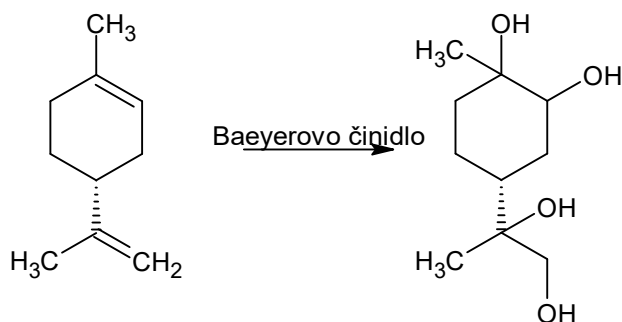
Pomerančová silice nachází široké uplatnění v průmyslu. Pokud se podíváme na vzorec D-limonenu, hlavní složky této silice (viz reakce níže), vidíme, že se jedná o alken, který neobsahuje žádné polární skupiny, a je kapalný. Je tedy vhodný pro použití jako rozpouštědlo, a díky svému přírodnímu původu je snadno biodegradovatelný. Patří tak mezi takzvaná **zelená rozpouštědla**. Silice jsou obvykle také hlavním zdrojem vůni, a D-limonen je zodpovědný za typickou citrusovou vůni, která se tak přidává do různých kosmetických přípravků i potravin jako **aroma**.



K tomu, abychom D-limonen v naší silici dokázali použijeme zkumavkových metod, a následně využijeme instrumentální metody k srovnání našeho produktu se standardem. D-limonen je alken s dvěma dvojnými vazbami, a podléhá tak klasickému důkazu alkenů, bromaci



a také reakci s Baeyerovým činidlem neboli bazickým roztokem manganistanu draselného



Plynová chromatografie je separační metoda založená na zadržení plynu na koloně tvořené silikagelem (polární fáze zadržující polární látky), případně silikagelem modifikovaným, například tzv. C18 silikagel obsahující dlouhé alifatické oktadecylové řetězce (nepolární fáze zadržující nepolární látky). Limonen je jako alken zcela nepolární, a vyžaduje ke stanovení kolonu s nepolární fází.

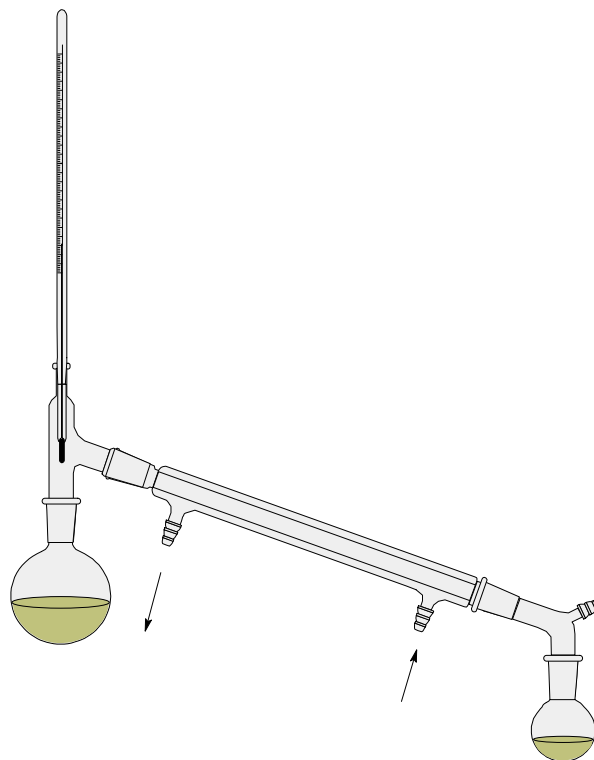
Za kolonou je umístěn detektor, který může být založen na různých fyzikálně-chemických principech, a který zaznamenává prošlý plyn. V konstrukčně jednoduchých chromatografích to bývá odporový článek, který generuje elektrický impuls úměrný koncentraci procházejícího plynu a neposkytuje informace o tom, jaká látka právě prochází detektorem. Výsledkem takového stanovení je graf závislosti intenzity signálu na čase, nazývaný chromatogram.

Úkoly

- Extrahovat limonen z pomerančové kůry
- Dokázat limonen zkumavkovými reakcemi
- Proměřit chromatogram extraktu a standardu limonenu

Pracovní postup

2-3 pomeranče ostrouhejte na struhadle tak, že z nich získáte barevnou část kůry – nikoliv bílou dužinatou část. Zvažte hmotnost získané kůry. Nasypejte kůru do 250 ml destilační baňky a přidejte 100 ml destilované vody. Sestavte destilační aparaturu dle obrázku vpravo (nebo pokynů učitele), destilační baňka, chladič a jímací baňka musí být uchyceny do klem na stojan! Po schválení aparatury učitelem spusťte destilaci.



Obsah kádinky by měl dosáhnout 100 °C a postupně predestilovat. Pokud už je v destilační baňce nedostatek kapaliny, kůra začne tmavnout, nebo teplota začne stoupat nad 100 °C, ukončete ihned ohřev a odstavte jímací baňku. V té by již během destilace měly být jasně dvě vrstvy kapaliny – na hladině vody se začne tvořit tenoučká vrstva silice (výtěžek očekáváme v desetinách gramu). Kapalinu nalijte do dělicí nálevky a nechte rozdělit. Pokud se kapalina dělí velmi pomalu, poraďte se s učitelem, a dle jeho pokynů přidejte do dělicí nálevky chlorid sodný. Rozpuštěním soli ve vodě se ještě zvýší její polarita a vypudí se z ní emulgovaná silice.

Jakmile se fáze rozdělí, odlijte spodní vodnou vrstvu. Na analytických vahách, pokud jsou k dispozici, si zvažte malou suchou lékovku i s víčkem a zaznamenejte hmotnost. Poté do předvážené lékovky slijte silici. Pravděpodobně fáze nerozdělíte perfektně a zůstane vám v lékovce kapička vody – můžete ji zkusit odstranit například injekční stříkačkou, není to však nutné. Zvažte lékovku uzavřenou víčkem obsahující silici a určete hmotnost získané silice a výtěžek v procentech z hmotnosti kůry.

Opatrně proveďte čichovou zkoušku vaší silice a popište její vůni. Proveďte zkumavkové pokusy zmíněné v teoretickém úvodu – odeberte drobné množství (stačí kapka) vaší silice do zkumavky, a přikápněte k ní zvolené činidlo. Zkumavku uzavřete a zamíchejte. Zapište si pozorovaný výsledek a okomentujte, zda bylo stanovení pozitivní. Výsledek konzultujte s vyučujícím.

Spust'te si na počítači program Instrumental Analysis. Nastavte měřicí profil dle instrukcí učitele a dále pracujte dle návodu pro měření na vašem chromatografu/dle instrukcí učitele. Proměřte spektrum vašeho extraktu a standardu limonenu a vizuálně porovnejte rozdíly. Výsledky diskutujte s vyučujícím.

Závěr

Výtěžek limonenu (silice) v % =

Úloha 5: Identifikace aminokyselin pomocí pI

Didaktická část

Zařazení do výuky

Biochemie – aminokyseliny

Cíle úlohy

- Žák má představu o acidobazickém chování aminokyselin ve vodném prostředí

Výstupy

- Žák určí všechny acidobazické skupiny na konkrétní molekule aminokyseliny
- Žák vysvětlí pojem zwitterion a napíše rovnici jeho vzniku
- Žák vypočte pI ze známých pK_A jednotlivých skupin na aminokyselině
- Žák nakreslí majoritní formu aminokyseliny při daném pH a známém pK_A
- Žák navrhne metodu dělení aminokyselin za využití pI, například pomocí elektroforézy

Mezioborové vztahy

Matematika – derivace

ICT – práce s excelem, prezentace dat

Analytická chemie – elektroforéza

Použitá čidla

pH čidlo – PS-2102

Chemikálie

- vzorky volných aminokyselin či jejich solí, chemicky čisté,

Volba vzorků je na učiteli. Je vhodné vybrat aminokyseliny se vzdálenými pK_A , jinak mohou body ekvivalence splývat. Nástin titračních křivek je dostupný například na anglické wikipedii (https://en.wikipedia.org/wiki/Amino_acid). Na rozlišení je například vhodný glycín a histidin, které se budou lišit počtem vln, či glutamát/aspartát vs. lysin/histidin, které se budou lišit posunem, jelikož se kyseliny drží v kyselé oblasti do dvojnásobného přídavku hydroxidu.

- kyselina chlorovodíková, 0,1 M
- hydroxid sodný, 0,1 M

Další pomůcky

- stojan s klemou pro zachycení pH čidla
- kádinka vysoká, 150–250 ml
- magnetická míchačka s míchadlem
- byreta 50 ml
- pipeta 10 ml, k ní balonek či pipetovací nástavec
- předvážky
- Erlenmeyerova baňka 100 ml
- počítač pro záznam dat vybavený SW Microsoft Excel a SPARKvue (PASCO)

Časový plán

Vlastní měření zabere zhruba 45 minut včetně přípravy, zpracování dat zabere odhadem dalších 30-45 minut. Celkový čas laboratorního cvičení alespoň tedy 2 hodiny.

Technické poznámky

Připravte vzorky aminokyselin k titraci jako 0,1 M roztoky v 0,1 M kyselině chlorovodíkové. Kyselé prostředí roztok proti rozkladným mikroorganismům a zároveň sníží počáteční pH. Například pro přípravu 100 ml roztoku glycinu:

$$m_{glyc} = c \cdot V \cdot M = 0,1 \text{ mol/l} \cdot 0,1 \text{ l} \cdot 75 \text{ g/mol} = 0,75 \text{ g}$$

$$V_{HCl, konc} = \frac{(c \cdot V)_{zř.}}{c_{HCl, konc}} = \frac{0,1 \text{ mol/l} \cdot 0,1 \text{ l}}{\approx 12 \text{ mol/l}} \approx 0,83 \text{ ml}$$

$$V_{H_2O} \approx 98 \text{ ml}$$

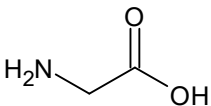
Chemicky čisté aminokyseliny lze získat v různých e-shopech a lékárnách zaměřených na zdravou výživu za příznivé ceny. Je třeba volit produkty s deklarovaným 100% složením bez příchutí/příměsí.

Úloha 5: Identifikace aminokyselin pomocí pI

Žákovská část

Otázky k zamyšlení

- Jaké kyselé a bazické skupiny najdete na molekule glycinu? Všechny označte a poté doplňte chybějící nabitě molekuly.

Celkový náboj	-1	0	+1
Vzorec		\leftrightarrow 	

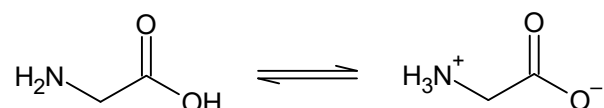
- Na titrační křivce níže najdete tři oblasti odpovídající třem formám glycinu. K jednotlivým oblastem doplňte převažující náboj molekuly (-1, 0, +1).



- Znáte nějakou metodu, která využívá náboj částic k jejich separaci?

Teoretická část

Aminokyseliny obsahují bazickou skupinu aminu -NH_2 a kyselou karboxylovou skupinu -COOH . Toto uspořádání umožňuje ve vodném prostředí acidobazickou reakci v rámci molekuly, která vede ke vzniku **zwitterionu**, také zvaného vnitřní sůl:

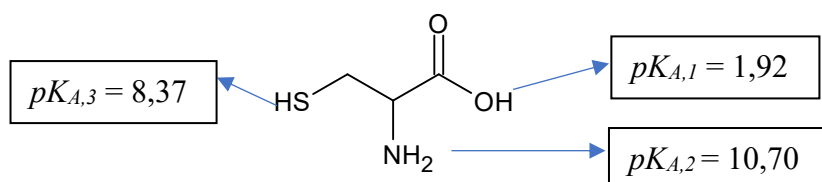


Ve vodném i fyziologickém prostředí existuje zwitterion s aminokyselinou v rovnováze. Vznikem zwitterionu se nemění celkový náboj. Vlivem pH prostředí však mohou být obě skupiny protonovány či deprotonovány. Tuto rovnováhu popisuje acidobazická disociační konstanta K_A .

$$K_{A,1} = \frac{\left[\text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2-\text{C}(=\text{O})\text{OH} \right] \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]}{\left[\text{H}_3\text{N}^+-\text{CH}_2-\text{C}(=\text{O})\text{OH} \right]}$$

$$K_{A,2} = \frac{\left[\text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2-\text{C}(=\text{O})\text{O}^- \right] \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]}{\left[\text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2-\text{C}(=\text{O})\text{OH} \right]}$$

Jak vidíme ze vztahu výše, v silně kyselém prostředí tak aminokyseliny získávají kladný náboj, zatímco v silně bazickém se stávají záporně nabitými. Konstanty disociace se tabelují jako záporné logaritmy pK_A . Z konvence se používá pro disociaci karboxylové kyseliny $pK_{A,1}$, pro aminovou skupinu $pK_{A,2}$ a pro případnou acidobazickou skupinu na bočním řetězci aminokyseliny $pK_{A,3}$. Na příkladu cysteinu:



Náboj aminokyseliny při $\text{pH} = \text{pK}_{A,1}$ je $+0,5$, protože kyselina je přesně v rovnováze mezi formou $+1$ a 0 . Při $\text{pK}_{A,3}$ je cystein v rovnováze mezi formou 0 a -1 , náboj je tedy $-0,5$. Konečně při $\text{pK}_{A,2}$ = cystein dosahuje celkového náboje $-1,5$. Pokud chceme zjistit, při kterých hodnotách dosahujeme celočíselného náboje, stačí sousední hodnoty pK_A zprůměrovat. Hodnota, při které je molekula aminokyseliny zcela neutrální, se nazývá **izoelektrický bod pI** . Pro cystein je to hodnota průměru $\text{pK}_{A,1}$ a $\text{pK}_{A,3}$, tedy $5,15$.

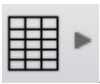

Náboj aminokyselin má praktické uplatnění například pro dělení jejich směsí. Použitím metody **gelové elektroforézy** lze dělit aminokyseliny aplikací pH pufru a elektrického proudu. Ionty aminokyselin mají při daném pH určitý náboj, a migrují tedy k elektrodám s nábojem opačným.

Úkoly

- Provést titraci aminokyseliny v celém rozsahu pH
- Určit jednotlivé pK_A aminokyseliny a její pI
- Pokusit se identifikovat aminokyselinu z průběhu titrace a pK_A/pI

Pracovní postup

Sestavte titrační aparaturu. Na stojan s klemou zavěste pH čidlo a byretu. Na magnetickou míchačku postavte vysokou kádinku s míchadlem. Připojte čidlo k počítači a spusťte SW PASCO SPARKvue. Zvolte Data senzoru, a ujistěte se, že je pH čidlo správně zapojeno. Zvolte rozvržení s tabulkou a grafem. Pod datovou tabulkou klikněte

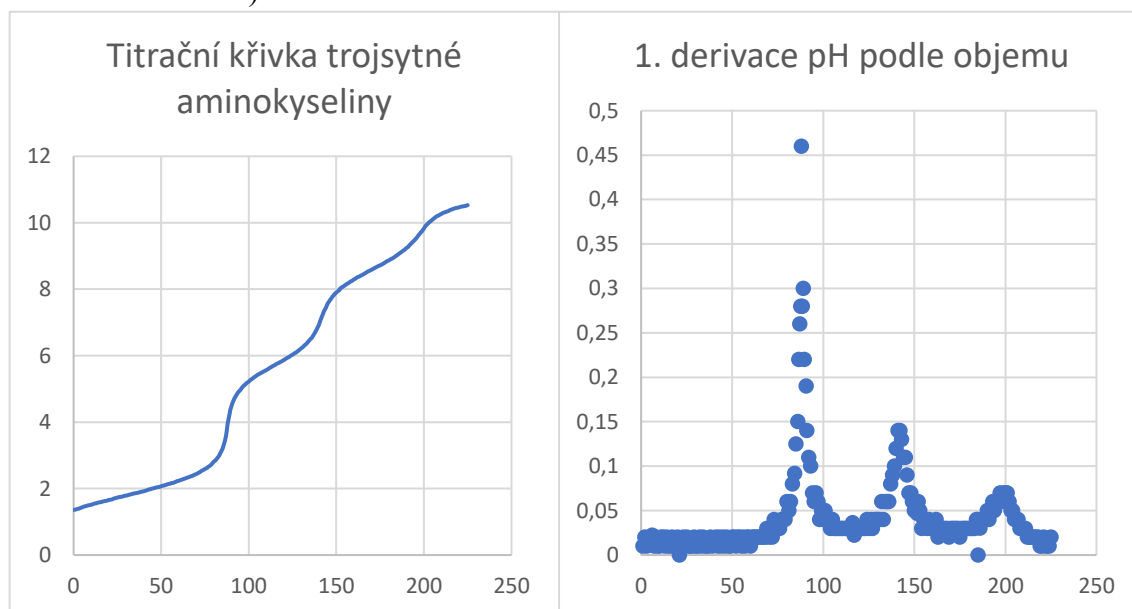
na ikonu Možnosti tabulky , poté Nový sloupec . Nad nově zobrazeným sloupcem klikněte na Vybrat měření. Zvolte možnost Zadáno uživatelem a Vložit data. Název měření je „Objem NaOH 0,1M“ a Název jednotek je „ml“. Uložte nastavení, nový sloupec by nyní měl zobrazovat nastavené jméno. Klikněte vlevo dole na tlačítko nastavení měření a nastavte sběr dat manuální.

Odpipetujte 10 ml roztoku aminokyseliny do kádinky a doplňte destilovanou vodou tak, aby bylo čidlo dostatečně ponořeno (ověřte u učitele) a spusťte magnetickou míchačku. Byretu naplňte zásobním roztokem hydroxidu sodného o koncentraci $0,1\text{ M}$. Spusťte měření. Zaznamenejte počáteční hodnotu (přídavek 0 ml). Do sloupce Objem NaOH $0,1\text{M}$ ručně zapisujte hodnotu objemu z byrety. Titrujte roztok po $0,5\text{ ml}$ do spotřebování všech 50 ml hydroxidu.

Po dokončení titrace zastavte měření. Uložte měření dle pokynů učitele, a exportujte výsledky do souboru .csv.

Zpracování dat

Otevřete Microsoft Excel, či jiný tabulkový procesor, a naimportujte naměřená data (záložka Data/Načíst data/Z souboru/Z textu/CSV). Data si zpracujte do sloupců Objem NaOH a pH a vynesete graf závislosti pH na přídatku hydroxidu. Poté do dalšího sloupce vypočtete první derivaci pH (změna pH podle změny objemu). Vyneste graf závislosti první derivace pH podle objemu. Z grafu určete body ekvivalence a objem NaOH, při kterých je jich dosaženo. Nyní určete pK_A . To odpovídá pH, které bylo naměřeno přesně v polovině mezi dvěma body ekvivalence (nebo bodem ekvivalence a začátkem měření).



Maximum derivace	Při objemu	Objem mezi B.E. $V_{1/2}$	pK_A
1	88	$(88+0)/2 = 44$	1,98
2	143	$(88+143)/2 = 115,5$	5,74
3	201	$(143+201)/2 = 172$	8,64

Vaše hodnoty objemu se budou pohybovat mezi 0-50 ml.

Z možností daných učitelem se pokuste identifikovat aminokyselinu. Využijte k tomu počet pK_A (2 nebo 3, podle toho, zda má vedlejší řetězec acidobazickou skupinu)

a průběh titrace (pokud je i po prvním bodu ekvivalence pH silně kyselé, má aminokyselina zřejmě dvě karboxylové skupiny, zatímco pokud vyskočí vysoko do jemně bazické oblasti, aminokyselina bude neutrální nebo bazická).

Z průběhu titrace a určených pK_A se pokuste určit pI. To musí být průměrem pK_A , mezi kterými dochází ke změně náboje z kladného na záporný. Pro usnadnění si můžete jednotlivé formy aminokyseliny nakreslit.

Jako výsledek odevzdejte graf titrace aminokyseliny, určené hodnoty pI, pK_A a název aminokyseliny ve vzorku.